

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Sistema de monitorização energética e comportamental

SMEC

**Caracterização do comportamento adaptativo humano e influência no
conforto e consumo de energia de um gabinete**

Maria Beatriz Viveiros Granadeiro

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada por:
Doutor Armando Pinto (LNEC)
Professor Fernando Marques da Silva (FCUL)

2017

Resumo

A melhoria da eficiência energética é uma das principais estratégias para mitigar as alterações climáticas, passando pela redução do consumo de energia fóssil e emissão de Gases de efeito de estufa [1].

Para melhorar a eficiência energética nos edifícios há que ter em conta o binómio conforto vs consumo energético, no entanto este ainda se revela difícil de alcançar uma vez que na maioria dos casos a arquitetura não está adaptada a proporcionar condições de conforto com baixas necessidades energéticas. Por outro lado, a sensação de conforto é subjetiva e muito dependente dos ocupantes. Nos edifícios passivos, a possibilidade dos ocupantes se adaptarem permite gamas de conforto mais alargados do que em edifícios com ar-condicionado, em muito baseadas no ambiente exterior e nas expectativas do utilizador. Nos edifícios passivos e atendendo às condições de conforto adaptativo, podem observar-se poupanças de energia de 50%.

Nesta tese, de forma a contribuir para caraterizar o comportamento adaptativo humano e perceber como este vai influenciar o conforto e o consumo energético foi desenvolvido o SMEC- Sistema de Monitorização Energética e Comportamental, um sistema de baixo custo, que visa monitorizar os mecanismos de adaptação utilizados pelo ocupante no seu gabinete de trabalho, tais como a proteção solar de vãos envidraçados, abertura e fecho de janelas e porta, iluminação artificial, etc. O SMEC monitoriza também grandezas relevantes para a o conforto dos ocupantes (condições termo-higrométricas interiores, iluminância e concentração de CO₂) e os consumos de energia (equipamentos ou iluminação).

Nesta tese procedeu-se à validação do SMEC por observação e comparação com equipamentos calibrados e monitorizou-se o comportamento adaptativo durante 16 dias. Os resultados obtidos permitiram evidenciar a validade do SMEC para caracterizar o comportamento adaptativo e permitiu identificar alguns padrões de comportamento e adaptação do ocupante.

Palavras-Chave:

Sistema de monitorização energética e comportamental; Conforto adaptativo; Comportamento adaptativo humano; Eficiência energética; Arduino; monitorização.

Abstract

One of the main strategies to mitigate climate change is to increase the energy efficiency, by reducing fossil energy consumption and emission of greenhouse gases [1].

In order to increase energy efficiency in buildings without decrease the user comfort, it is necessary to take into account the binomial comfort vs energy consumption, however, this challenge proves difficult to achieve since in most cases the architecture is not adapted to provide comfort conditions with low energy needs. On the other hand, the feeling of comfort is subjective and very dependent on the occupants. In passive buildings, the ability of occupants to adapt allows for wider comfort ranges than in an air-conditioned building, largely based on the outside environment and user expectations. In passive buildings, concerning the conditions of adaptive comfort, energy savings of 50% can be observed.

In this thesis, to characterize human adaptive behavior and to understand how this will influence comfort and energy consumption, the SMEC- Energy and Behavior Monitoring System was developed, a low-cost system that aims to monitor the mechanisms of adaptation used by the occupant in his / her workroom, such as windows glazing, opening and closing of windows and doors, artificial lighting, etc. The SMEC also monitors relevant quantities for occupant comfort (indoor thermo-hygrometric conditions, illuminance, and CO₂ concentration) and energy consumption (equipment or lighting).

In this thesis, the SMEC was validated by observation and comparison with calibrated equipment and the adaptive behavior was monitored for 16 days. The results obtained showed the validity of the SMEC to characterize the adaptive behavior, since it has been possible to identify some patterns of adaptation.

Keywords: Energy and behavioral monitoring system, Adaptive comfort; Human adaptive behavior; Energy efficiency; Arduino; monitoring.

Índice

Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	viii
Agradecimentos	ix
Simbologia e Notações	x
1 Introdução	11
1.1. Enquadramento e relevância	11
1.2. Objetivos	13
1.3. Metodologia	14
2 Estado da Arte	15
2.1 Comportamento humano: Conforto adaptativo	15
2.2 Edifícios solares passivos/bioclimáticos	16
2.2.1 Ventilação Natural	16
2.2.2 Estratégias solares passivas	17
2.3 Eficiência energética - Legislação	17
2.3.1 RECS- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços	18
2.3.2 EN 15251	18
2.3.3 ISO 7730	19
2.4 Sistemas de monitorização energética e comportamental existentes / Sistemas de gestão de energia	20
3 Conceção e validação do SMEC	22
3.1 Conceção geral do SMEC	22
3.2 Arduíno	23
3.3 Comunicação	24
3.4 Shields e Sensores	25
3.5 Ensaio de validação e calibração do SMEC	33
3.6 Especificações do desempenho do SMEC	38
3.7 Custos	39
4 Caso de estudo e resultados	40
4.1 Descrição	40
4.1.1 Clima	40
4.1.2 Edifício	41
4.1.3 O gabinete e instalação dos SMEC	41
4.2 Resultados	42
4.2.1 Parâmetros para apreciação de condições de conforto	42
4.2.2 Apreciação das condições de conforto	42

4.2.3	Conforto térmico.....	43
4.2.4	Qualidade do ar.....	44
4.2.5	Conforto visual (iluminância).....	44
4.2.6	Comportamento adaptativo	45
4.2.7	Discussão dos resultados	47
5	Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	52
	Referências Bibliográficas	54
	Anexos	57

Índice de Figuras

Figura 1. 1 – Repartição das fontes de produção de eletricidade em Portugal Continental (Ano 2016)	11
Figura 1. 2 – Poupança de energia devido à eficiência energética (11 países da OCDE, 1973- 2004)	11
Figura 1. 1 – Comportamentos adaptativos do ocupante	13
Figura 2. 1 - Comparação de energia necessária para arrefecimento nos modelos de conforto convencional e adaptativo [4]	14
Figura 2. 2 – Ventilação Natural nos edifícios	15
Figura 3. 1 – Variação das Temperaturas médias anuais	20
Figura 3. 2 – Precipitação média anual em Lisboa (1971 – 2000)	20
Figura 3. 3 – Planta do piso do edifício do caso de estudo	21
Figura 3. 4 – Fachada Sul	21
Figura 3. 5 – Fachada Norte	21
Figura 3. 6 – Gabinete do caso de estudo	22
Figura 4. 1 - Esquema geral do SMEC	23
Figura 4. 2 – Constituição do SMEC	26
Figura 4. 3 – Shield Ethernet	27
Figura 4. 4 – RTC	27
Figura 4. 5 - AM2302	28
Figura 4. 6 – DS18B20	28
Figura 4. 7 – Photoresistor	28
Figura 4. 8 – Variação da resistência do sensor com a iluminação	29
Figura 4. 9 – PIR	29
Figura 4. 10 – Funcionamento do PIR	30
Figura 4. 11 – Componentes do PIR	30
Figura 4. 12 – MQ135	30
Figura 4. 13 – Calibração do MQ 135	31
Figura 4. 14 – SCT-013-100	31
Figura 4. 15 – MCS	32
Figura 4. 16 – Rotary encoder	32
Figura 4. 17 – Funcionamento do Rotary encoder	33
Figura 4. 18 – Instalação do encoder na fita do estore	33
Figura 4. 19 – HC SR04	34

Figura 4. 20 – Colocação do HC-SR04 no estore.....	34
Figura 4. 21 - Gráfico de comparação da Potência aparente Arduino e sensor oficial	35
Figura 4. 22 - Gráfico de comparação do nível de CO ₂ do Arduino e sensor oficial.....	36
Figura 4. 23 - Gráfico de comparação da temperatura do Arduino e sensor oficial.....	36
Figura 4. 24 - Gráfico de comparação da humidade relativa do Arduino e sensor oficial.....	37
Figura 4. 25 - Gráfico de comparação iluminância do Arduino e sensor oficial.....	38
Figura 4. 26 - Esquema de montagem do SMEC	38
Figura 4. 27 – Aspecto do SMEC.....	39
Figura 5. 1 – Variação das temperaturas do gabinete e corredor e as temperaturas de conforto mínima e máxima.....	41
Figura 5. 2 - Variação da humidade relativa e a HR de conforto mínima e máxima.....	42
Figura 5. 3 - Variação da concentração de CO ₂ e a CO ₂ de conforto máximo.....	42
Figura 5. 4 - Variação da iluminância e o nível de conforto mínimo.....	43
Figura 5. 5 – Variação do movimento do utilizador.....	43
Figura 5. 6 – variação do estado da porta – 0: Fechada; 1: Aberta.....	44
Figura 5. 7 – Variação do estado da Janela, folha 1 e 2.....	44
Figura 5. 8 – Variação do estado do estore – Nível de abertura e projeção.....	45
Figura 5. 9 – Interação do utilizador com a porta, janela e estore.....	46
Figura 5. 10 – Variação das temperaturas com a abertura da porta e janela.....	47
Figura 5. 11 – Variação do nível e CO ₂ com a abertura da porta e janela.....	47
Figura 5. 12 – Variação da humidade relativa com a abertura da porta e janela.....	48
Figura 5. 13 – Interação do utilizador com a iluminação vs iluminância.....	48
Figura 5. 14 – Interação do utilizador com a iluminação e estore.....	49
Figura 5. 15 – Comprimento de onda para diferentes tipos de iluminação.....	50

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 – Tabela exemplos iluminância.....	15
Tabela 2. 2 -Tabela de classificação dos edifícios [16].....	17
Tabela 2. 3 - Critérios para calculo de energia para edifícios de categoria III [16].....	18
Tabela 4. 1 - Especificações das placas Arduino.....	24
Tabela 4. 2 – Especificações de desempenho do SMEC.....	39
Tabela 4. 3 – Custos dos componentes do SMEC.....	40

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Engenheiro Armando Pinto e Professor Marques da Silva pela orientação desta tese, ao Eng. António Santos por toda a ajuda, apoio e orientação no decorrer desta.

Agradeço também Ricardo da oficina do DEGGE pela ajuda na construção da caixa para o SMEC e para os suportes de alguns sensores.

Por ultimo de não menos importante, agradeço à minha família e amigos por todo o apoio demonstrado ao longo do curso em especial durante a escrita desta tese.

Simbologia e Notações

UE	União Europeia
GEE	Gases de efeito de estufa
SMEC	Sistema de monitorização energética e comportamental
a	Valores da equação $y = a*x^b$,
b	Valores da equação $y = a*x^b$,
d_1	Distância máxima que se pode projetar o estore, no ponto 1
d_2	distância máxima que se pode projetar o estore, no\ ponto 2
d_{M1}	Distância medida pelo sensor no ponto 1 mais 1cm de comprimento do sensor
E_T	Comprimento do estore (111cm),
P_M	Passos medidos pelo encoder
ppm	Partes por milhão
P_T	total de passos para fechar o estore

1 Introdução

1.1. Enquadramento e relevância

Atualmente a energia é indispensável no nosso quotidiano e o consumo tem vindo a aumentar constantemente. A necessidade crescente da produção energética afeta não só a nível económico, como também a nível ambiental, uma vez que grande parte ainda tem origem em combustíveis fósseis que além de poluentes têm um período de renovação muito lento ou inexistente. Assim sendo, de modo a fazer face à pressão sobre os recursos energéticos e ao crescente consumo de energia a nível mundial, é urgente promover medidas para uma utilização eficiente destes recursos através da diminuição do consumo e reaproveitamento energético, bem como, optar pela utilização de energias de fonte renovável.

Para tal, a Comissão Europeia concluiu, em finais de 2011, que a dificuldade no cumprimento do objetivo traçado no que respeita à eficiência energética exigia a alteração do quadro jurídico europeu nesta matéria, tendo sido adotada a Diretiva n.º 2012/27/UE [2] onde estão incluídas as medidas do Plano de Eficiência Energética de 2011 e as metas identificadas no roteiro de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050. De forma a facilitar introdução desta e outras diretivas na área da energia, têm sido concebidas estratégias como o Horizonte 2020 [3], criado pela UE, que visam o financiamento de projetos alinhados com as metas para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e aumentar em 20% a eficiência energética” e mais recentemente novas metas de energia e clima para 2030 [4]:

- redução de pelo menos 40% das emissões de GEE;
- redução do consumo de energia de pelo menos 27%;
- pelo menos 27% de energias renováveis.

A transposição nacional da diretiva relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos deu origem ao Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013 - 2016 (Estratégia para a Eficiência Energética — PNAEE 2016), abrangendo seis áreas específicas, nomeadamente, Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura, contemplando diversas medidas de promoção da eficiência energética de modo a atingir as metas propostas para 2016 e 2020. A estimativa da poupança pela aplicação do PNAEE até 2016 é de 1501 ktep (em energia final) e no horizonte temporal de 2020 para efeitos de acompanhamento e monitorização do impacto estimado no consumo de energia primária permite perspetivar antecipadamente o cumprimento das novas metas assumidas pela UE, de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020, bem como o objetivo geral assumido pelo Governo de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico. Para os Organismos e Serviços da Administração Pública foi lançado o Programa Eco.AP que visa alcançar um nível de eficiência energética no sector público na ordem dos 30% até 2020 [5] [6].

No que diz respeito às energias renováveis, a Diretiva das Energias Renováveis 2009/28/CE [7] é transposta a nível nacional através do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) [8].

No horizonte 2020, o PNAER 2020, prevê uma redução de 18% na capacidade instalada em tecnologias baseadas em FER face ao de 2010, com a quota de eletricidade de base renovável no novo PNAER a ser superior (60% vs. 55%), tal como a meta global a alcançar, que deverá situar-se em cerca de 35% (face à meta de 31%).

Neste sentido, Portugal tem feito um enorme esforço por cumprir estas metas como comprova o Boletim Energias Renováveis da APREN [9]:

- “O ano de 2016 evidenciou o papel incontornável das fontes de energia renovável para um abastecimento fiável das necessidades elétricas nacionais.”
- “Destaca-se ainda positivamente um conjunto de 1.130 horas (equivalente a mais de 1,5 meses) em que a eletricidade renovável já foi suficiente para, só por si, abastecer o consumo elétrico nacional.”

Como se pode ver pelo gráfico a baixo, 58% da eletricidade produzida em Portugal teve origem renovável:

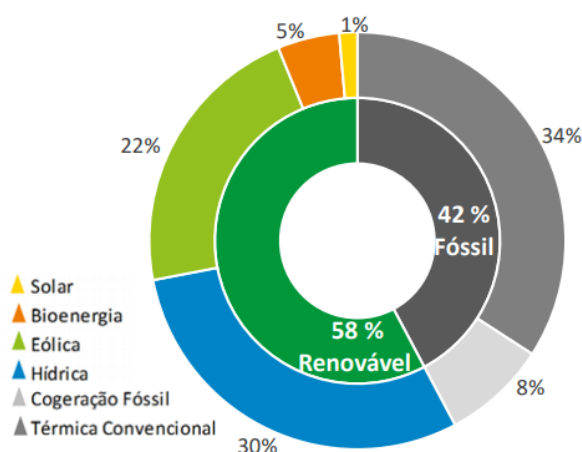


Figura 1. 2 – Repartição das fontes de produção de eletricidade em Portugal Continental (Ano 2016)

Atualmente a energia consumida nos edifícios em diversos países representa 38% do consumo final de energia, chegando mesmo a representar cerca de 45% em países desenvolvidos, o que revela a necessidade de aumentar fortemente a eficiência energética dos edifícios.

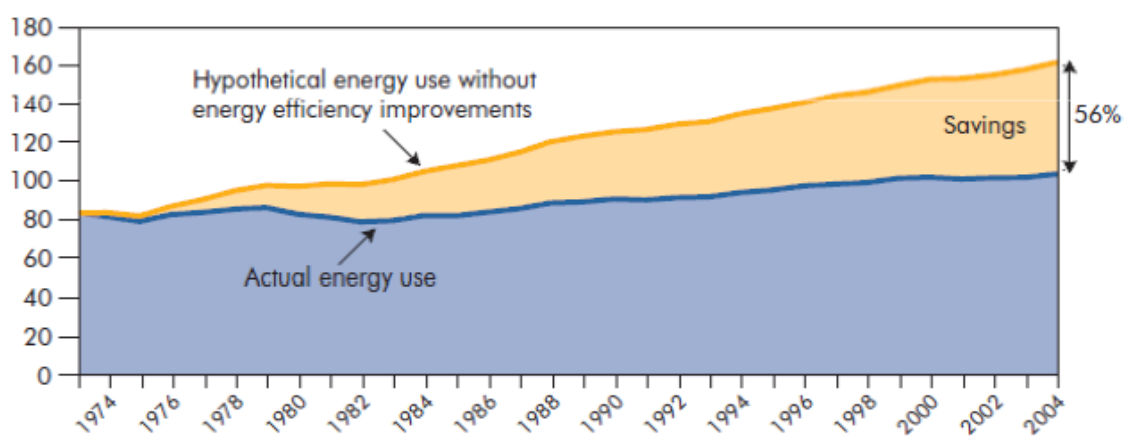


Figura 1. 3 – Poupança de energia devido à eficiência energética (11 países da OCDE, 1973- 2004)

Atualmente a maioria dos edifícios existentes não satisfazem as condições de conforto térmico e apresentam um desempenho energético que pode ser melhorado. Por outro lado, em muitos dos edifícios onde são aplicadas estratégias sustentáveis promotoras de um desempenho energético elevado, o conforto adaptativo é frequentemente ignorado [10], sendo por isso, cada vez mais importante avaliar o balanço entre o conforto e a eficiência energética para que possam ser alcançadas as metas para energia e clima para 2030.

De modo a melhorar este balanço, foram realizados vários estudos que evidenciam que o comportamento humano pode corresponder uma redução de 34% a 50% no consumo de energia [11][12]. No entanto, nestes estudos, a avaliação do impacto do comportamento humano é realizada com base em inquéritos e monitorização das condições ambientais[13] e dos consumos de energia, que permitem identificar os atos de ligar/desligar alguns equipamentos[14][15], sendo que são poucos os que apreciam o uso das proteções solares e janelas.

Alguns destes também mostram que ao recorrer a sistemas automatizados, embora permita atingir grandes poupanças energéticas, o utilizador sente mais facilmente desconforto por não ter controlo das condições do seu espaço de trabalho.[10]

Em Portugal, as condições de conforto assemelham-se mais das condições passivas (ASHRAE 55 e EN 15251), contudo, existem poucos estudos que apreciem o comportamento adaptativo das pessoas. Existem também alguns estudos que mostram que ocupantes que tem acesso às janelas e ao seu comando apresentam maior grau de satisfação [10].

Nesse sentido, considerando que o comportamento humano pode ter uma influência decisiva nos consumos de energia, no conforto e no bem-estar, na prossecução desses objetivos, nesta dissertação pretende-se criar um sistema de monitorização energética e comportamental de modo a avaliar os comportamentos e sua influência nas condições ambientais e nos consumos de energia de uma forma mensurável, comparando com os parâmetros de legislação nacional e internacional. Com a análise dessa informação, pretende-se contribuir para a caracterização de comportamento e para a sensibilização do utilizador para os seus consumos e a melhorar comportamentos no uso da proteção solar, da abertura das janelas, da iluminação e climatização de forma a melhorar a eficiência no uso da energia.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta tese são: identificar os comportamentos adaptativos dos ocupantes num gabinete e a sua relação com fatores ambientais e as condições de conforto.

Para tal foi criado um sistema de monitorização energética e comportamental do gabinete que visa monitorizar cada um dos parâmetros/fatores de adaptação e analisar a sua relação com as condições de conforto e consumo de energia descritas na norma EN 15251 [16].

O gabinete caso de estudo não tem ar condicionado e encontra-se descrito na secção 3.1.3. Os comportamentos adaptativos a estudar nesta tese no período de agosto a setembro de 2017 foram:

- Abrir / fechar janelas,
- Abrir e fechar a porta,
- Subir ou descer o estore,
- Projeção do estore
- Ligar/desligar iluminação.

Na Figura 1.3 apresenta-se os comportamentos adaptativos disponíveis para o ocupante do gabinete, sendo que a preto estão os estudados nesta tese e a cinza os não estudados quer por não se adaptarem à época do ano ou pelo seu carácter não mensurável.

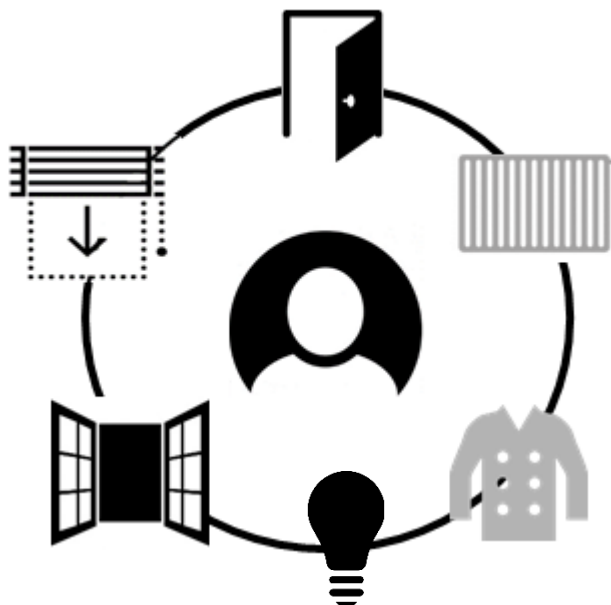


Figura 1. 4 – Comportamentos adaptativos do ocupante

Nesta tese, procura-se recolher dados do comportamento e posteriormente estuda-se a relação entre esse comportamento adaptativo e os fatores ambientais que o condicionam.

1.3. Metodologia

Esta tese consiste na criação de um sistema de monitorização energética e comportamental - SMEC. Para tal, foi considerado relevante monitorizar as condições ambientes interiores por via da medição da temperatura interior, humidade relativa, iluminância e concentração de CO₂. Foram identificadas quais as oportunidades adaptativas existentes no gabinete caso de estudo e que poderão ser extensivas a outros espaços do tipo gabinete individual, como se indicou na secção anterior.

Após identificação destes parâmetros foi feita uma pesquisa de microcontroladores e sensores de baixo custo baseados na plataforma Arduino que se aplicassem à monitorização das variáveis identificadas.

O SMEC foi programado primeiro testando um sensor de cada vez e depois todos os sensores em conjunto.

Quando colocados todos na mesma *breadboard* e constituído um único código, foram testados novamente, e quando em conformidade, iniciaram-se as medições, estando assim criado o SMEC.

A tese está estruturada em 6 capítulos, em que no capitulo 2 se faz uma apresentação do estado da arte, no capítulo 3 descreve-se o caso de estudo, no capítulo 4 a conceção e validação do SMEC, no capítulo 5 apresentam-se os resultados e uma análise e caracterização adaptativa. No capítulo 6 apresentam-se as conclusões.

2 Estado da Arte

De forma a proporcionar conforto com baixo consumo de energia é importante perceber a influência do comportamento humano no controlo dos mecanismos de adaptação disponíveis no espaço de trabalho e no consumo de energia e de que forma as condições ambientais podem afetar esse comportamento.

2.1 Comportamento humano: Conforto adaptativo

O comportamento humano no seu espaço de trabalho vai ser influenciado pelo seu conforto térmico, “estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)” - ISO 7730 [17] ou “Estado de espírito que expressa satisfação em relação ao ambiente envolvente e é avaliado de forma subjetiva” – ASHRAE 55 [18].

Pode então dizer-se que o conforto térmico é uma sensação subjetiva e fortemente relacionada com o clima e as expectativas térmicas, o que leva à existência de diferenças individuais na perceção deste ambiente e a expectativa de conforto. [10]

Faz então todo o sentido falar-se de conforto adaptativo, pois a aceitação do ambiente térmico está diretamente relacionada à expectativa do ocupante, e há diferenças individuais na perceção deste ambiente e a expectativa de conforto destes [10] Têm sido feitas inúmeras pesquisas sobre o conforto térmico adaptativo para diferentes edifícios e climas variados que vão ser tidos em conta nesta dissertação e que se encontram incluídos por exemplo nas normas EN 15251 [16] e ASHRAE 55[18] que define o modelo adaptativo como “modelo que relaciona temperaturas internas ou gamas de temperaturas aceitáveis em relação à meteorologia externa ou parâmetros climatológicos”.

No entanto é importante não confundir os significados de conforto e satisfação/ bem-estar, pois são ligeiramente diferentes. A satisfação é mais um termo geral e está mais relacionada com as expectativas e desejos pessoais: o "prazer ou estado emocional positivo resultante da avaliação" da experiência. Ou seja, vai além de uma resposta física e expectativa, inclui o status psicológico [10].

Como se pode verificar pelo gráfico a baixo, ao utilizar modelos de conforto adaptativo, vai ser possível reduzir a quantidade de energia necessária.

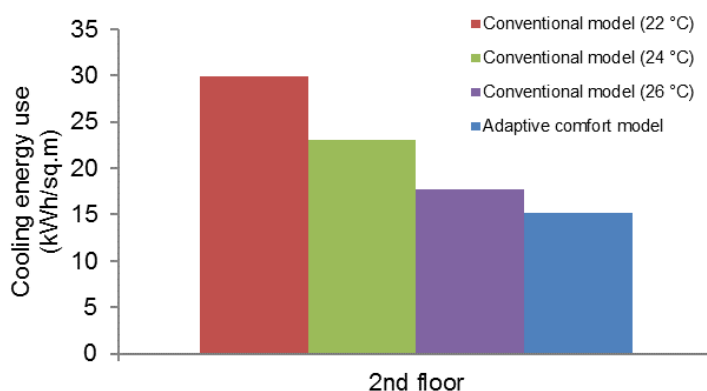


Figura 2. 1 - Comparação de energia necessária para arrefecimento nos modelos de conforto convencional e adaptativo [11]

Estudos demonstram que os ocupantes geralmente adaptam seu ambiente e suas características pessoais para alcançar seu conforto de maneira que seja conveniente para eles, em vez de serem necessariamente conservadores de energia e que os ocupantes também substituem frequentemente os sistemas automáticos, indicando sua insatisfação. Estudos também mostraram que a perceção dos ocupantes em relação ao conforto é negativamente afetada pela falta de controle sobre o ambiente [15].

Assim, os edifícios ventilados naturalmente podem proporcionar uma gama mais ampla de temperaturas interiores confortáveis para os ocupantes, se forem proporcionadas oportunidades de adaptação suficientes, conduzindo a uma diminuição significativa no consumo de energia, uma vez que maior é capacidade de adaptabilidade/controlo das condições do espaço de trabalho, maior é o conforto [10].

Os valores de iluminância já se encontram regulados para alguns edifícios de serviços (EN 15251 [16] e EN 12464) sendo que na tabela 4.2 encontra-se alguns exemplos da iluminação encontrada/recomendada:

Tabela 2. 1 – Exemplos de iluminância

Iluminância	Exemplos
0.2 lx	Iluminação de emergência
50 lx	Sala de estar da família
80 lx	WC
100 lx	Corredores
150 lx	Escadas
300 lx	Salas de aula, salas de exames em hospitais
500 lx	Escritórios, salas de aula para adultos, salas de leitura
1,000 lx	Estúdio de TV ou sala de tratamento em hospitais

2.2 Edifícios solares passivos/bioclímáticos

2.2.1 Ventilação Natural

Segundo Marques da Silva, “Ventilação Natural é a renovação do ar promovida pelas ações naturais (térmica e vento), que asseguram de uma forma controlada o escoamento do ar entre aberturas de admissão de ar exterior (janelas e grelhas) e as aberturas de extração de ar (chaminés).”

E segundo o RECS, “A ventilação com recurso às ações naturais do vento e da diferença de temperatura baseia-se em soluções que permitam o escoamento natural do ar nos espaços interiores do edifício, através de aberturas permanentes ou controláveis, com área adequada para o efeito, sendo que o caudal de ar novo efetivo nos espaços está dependente dos efeitos naturais e da atuação dos ocupantes nas folhas móveis dos vãos.”

Este tipo de ventilação funciona sem recurso a equipamentos mecânicos, sendo por isso uma solução a implementar do ponto de vista da eficiência energética [19].

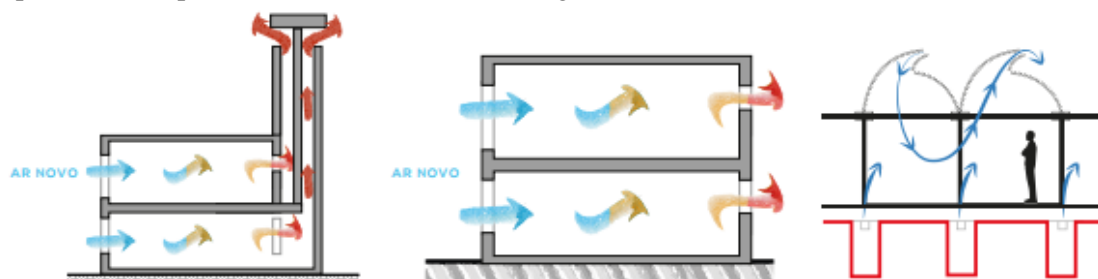


Figura 2. 2 – Ventilação Natural nos edifícios [19]

A ventilação natural ocorre devido a diferenças de pressão entre duas zonas, provocando um movimento da massa de ar da zona de menor pressão para a zona de maior. Estes diferenciais de pressão entre zonas de edifícios são provocados por fatores naturais, tais como a temperatura e o vento.

Estes diferenciais levam à existência de dependência das condições climáticas, esta é a maior condicionante desta tecnologia, uma vez que não permite garantir, em permanência, os níveis mínimos de ventilação. Estes são, no entanto, assegurados na maioria dos casos.

Assim sendo, e de modo a favorecer a ventilação natural, podem ser incorporados elementos de vegetação que, em conjugação com os edifícios, vão orientar o escoamento para determinadas aberturas, ou servindo de barreira aos ventos excessivos.

Pode então dizer-se que a ventilação natural tem como função extrair os poluentes provenientes das atividades humanas e relativos aos materiais existentes no local, de modo a manter os valores de concentração inferiores aos valores de referência, e remover o excesso de carga térmica gerada pelos equipamentos existentes no interior e dos seus ocupantes (pessoas e/ou animais), de forma a assegurar as condições de humidade relativa tanto para evitar condensações e minimizar o movimento de massas de ar que causem sensação de desconforto aos ocupantes [20].

Uma vez que este tipo de ventilação não utiliza meios mecânicos, tem o potencial de melhorar significativamente as condições de conforto interno e proporcionar uma boa qualidade do ar, sem comprometer a eficiência energética do edifício, sendo mesmo possível melhorar o seu desempenho energético nas áreas do aquecimento e arrefecimento e também a iluminação [10], e ainda contribuir para o conforto adaptativo do ocupante, uma vez que este tem o controlo do dispositivo.

2.2.2 Estratégias solares passivas

São muitas as estratégias solares passivas que podem contribuir para a redução das necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação de um determinado edifício, sendo que a sua utilização depende do clima e das características envolventes em que este se insere, tais como os vãos envidraçados, que vão permitir a transmissão da radiação solar e ganhos solares para o interior e a ventilação natural e os dispositivos de proteção solar, que podem ser estores, projetáveis ou não, que permitem dimensionar radiação solar incidente no vidro de acordo com as necessidades de conforto adaptativo, entre outros.

2.3 Eficiência energética - Legislação

Atualmente, os Edifícios em Portugal representam: 30 % dos consumos energéticos, 60 % do consumo elétrico e são o 2º sector em termos de emissões de CO₂ [21]. Deste modo, e de forma a atingir as novas metas de energia e clima para 2030, o aumento da eficiência energética em edifícios, ou seja, a otimização do consumo de energia, assume um papel cada vez mais importante.

Sendo mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, há um potencial de redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ que representa quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto.

2.3.1 RECS- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

Segundo a portaria n.º 349-D/2013 do RECS, “considera-se que um edifício é híbrido ou passivo quando a percentagem de horas de ocupação anual em que se verificam necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento, para manter a temperatura interior de conforto compreendida no intervalo de 19°C a 27°C, se inclui nos seguintes intervalos:

- Edifícios passivos: Até 10% inclusive;
- Edifícios híbridos: de 10% a 30% inclusive.”

Segundo a Diretiva nº 2010/31/CE, está especificado que os grandes edifícios de comércio e serviços e os edifícios públicos têm por lei de realizar periodicamente uma auditoria e implementação de Sistemas de Gestão de Energia (SGE) [22], onde se apresentam:

- Estratégias para a redução dos custos energéticos;
- Critérios para a monitorização, documentação e análise dos consumos energéticos;
- Procedimentos para operação e manutenção dos sistemas, visando a gestão eficiente da energia;
- Política de melhoria contínua de emissões de gases de efeito de estufa e outros impactos ambientais relacionados com o consumo energético.

Na Portaria n.º 349-D/2013 [23] está especificado que para simulação energética de edifícios, “quando existam dispositivos de sombreamento móvel, deve ser considerada, a utilização desses dispositivos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m², ou que os mesmos estão ativos a 60% da área ou outro método que produza efeito equivalente”, no entanto, no âmbito desta tese não foi estudado a radiação exterior.

2.3.2 EN 15251

A EN15251 baseia-se em normas já existentes ASHRAE 55 e ISO 7730, no entanto, incorpora critérios de conforto mais exigentes do que o regulamento nacional em vigor (RECS) os edifícios podem ser classificados por categorias tendo em conta as expectativas relativas ao seu ambiente interior:

Tabela 2. 2- Tabela de classificação dos edifícios [16]

Categoria	Esclarecimento
I	Alto nível de expectativa, recomendado para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito jovens e idosos.
II	Nível normal de expectativa, deve ser usado para novos edifícios e renovações
III	Nível de expectativa aceitável e moderado, pode ser usado para edifícios existentes
IV	Valores fora dos critérios para as categorias acima. Esta categoria só deve ser aceite durante uma parte limitada do ano

Assim sendo, e como estamos perante um edifício de serviços existente, é selecionada a categoria III. Como tal todos os critérios seguintes serão aplicados a esta categoria específica.

Deste modo, a avaliação do ambiente interior inclui:

- 1) critérios térmicos para o inverno,
- 2) critérios térmicos para o verão,
- 3) qualidade do ar e critérios de ventilação,
- 4) critérios de iluminação,
- 5) critérios acústicos.

Não esquecer que devido ao modelo de conforto adaptativo e por ser um edifício híbrido ou passivo, a gama de temperaturas de conforto pode vir a ser maior, tendo em conta as condições climáticas.

Tabela 1.3 - Critérios para cálculo de energia para edifícios de categoria III [16]

Critérios do ambiente interior	Valores Standard
Condições térmica no inverno	19-25 °C
Condições térmica no Verão	22-27 °C
Indicador de qualidade do ar, CO ₂	800 ppm acima do exterior
Indicador de qualidade do ar, Humidade	20% < HR < 70%
Taxa de ventilação	0,8 < l/s, m ² < 1,2
Iluminação	E _m > 500 lx
Ambiente acústico	Som interior < 35 dB(A) Som do exterior < 55 dB(A)

Esta norma também prevê que num escritório seja praticada uma atividade sedentária de aproximadamente 1,2 met, no entanto não foi estudada no âmbito desta tese, uma vez que não é mensurável com os sensores existentes. Também devido ao custo e disponibilidade de sensores, não foi estudada a taxa de ventilação e o ambiente acústico.

2.3.3 ISO 7730

O ISO 7730 define os **parâmetros do conforto** e subdivide-os em duas classes:

- Parâmetros individuais:
 - Atividade
 - Vestuário
- Parâmetros ambientais:
 - Temperatura do ar
 - Humidade do ar
 - Velocidade do ar
 - Temperatura média radiante.

A norma ISO 7730 considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis.

2.4 Sistemas de monitorização energética e comportamental existentes / Sistemas de gestão de energia

A maioria dos utilizadores dos edifícios não tem conhecimento sobre as condições ambientais nem como as suas ações afetam a fatura energética. A utilização de um sistema de monitorização energética e comportamental pode permitir informar os ocupantes de forma a terem um consumo mais consciente, pois passa a ser possível fazer uma análise dos consumos de forma detalhada e identificar possíveis falhas, má utilização de recursos e como tal otimizar a sua utilização, reduzindo consumos e respetivos custos de energia. Como os SME são sistemas passivos, estas alterações passam sempre pelo utilizador, uma vez que estes sistemas se limitam a monitorizar os consumos e não a alterar os mesmos.

Após a comparação de consumos e resultados obtidos em edifícios semelhantes passa a ser mais fácil a implementação de práticas que vão permitir aumentar a eficiência energética, o que leva a que estes sistemas atinjam cada vez mais importância no desempenho energético dos edifícios.

Atualmente já existem vários sistemas de monitorização energética para edifícios, mas não incluindo a monitorização comportamental, e os mais avançados, embora possam recolher grandes quantidades de dados sobre caracterizações precisas de muitos parâmetros ambientais internos, geralmente utilizam hardware e software pago, o que pode afetar negativamente os custos, a flexibilidade e a integração de dados.

Os Sistemas de Gestão de Energia (SGE) permitem controlar e gerir os consumos de energia de forma centralizada e baseiam-se na recolha dos vários pontos de consumos e sua monitorização em tempo real a partir das plataformas de internet. Muitas vezes a sua implementação surge no âmbito do RECS. Estes sistemas não fazem qualquer tipo de monitorização comportamental.

Sistemas faça você mesmo (DIY)

São sistemas que permitem ao utilizador dimensionar exatamente aquilo que precisa uma vez que é comprado componente a componente e programado pelo utilizador.

Estes sistemas (plataforma e data logger) foram escolhidos por terem as seguintes características:

- Preço acessível, utilizando componentes elétricos baratos, mas de alto desempenho;
- Escaláveis;
- Altamente personalizáveis, sendo projetados e construídos usando hardware e software *open source*;
- Fáceis de construir, programar e utilizar (seguindo tutoriais detalhados on-line);
- Armazenamento de dados a longo prazo em cartões SD, com intervalos definidos pelo utilizador;
- Precisão de medição semelhante aos dispositivos comerciais comuns;
- Baixo consumo de energia.

3 Conceção e validação do SMEC

3.1 Conceção geral do SMEC

O SMEC é um sistema de monitorização energético e comportamental que utiliza o Arduino e todos os sensores inerentes à monitorização do conforto e consumo energético de um gabinete descrito no caso de estudo (capítulo 4), tais como (Figura 4.1): iluminação, temperatura, humidade, nível de CO₂, ocupação do espaço, consumo energético e ainda nível das persianas (sombreamento), abertura ou fecho de janelas e porta, sendo que adicionalmente também foi monitorizada a temperatura do corredor que dá para a nave contígua ao gabinete, pois devido à sua arquitetura, tende a apresentar temperaturas inferiores quer à do gabinete quer ao exterior, sendo esta fornecida pelo *Weather Underground* [26]

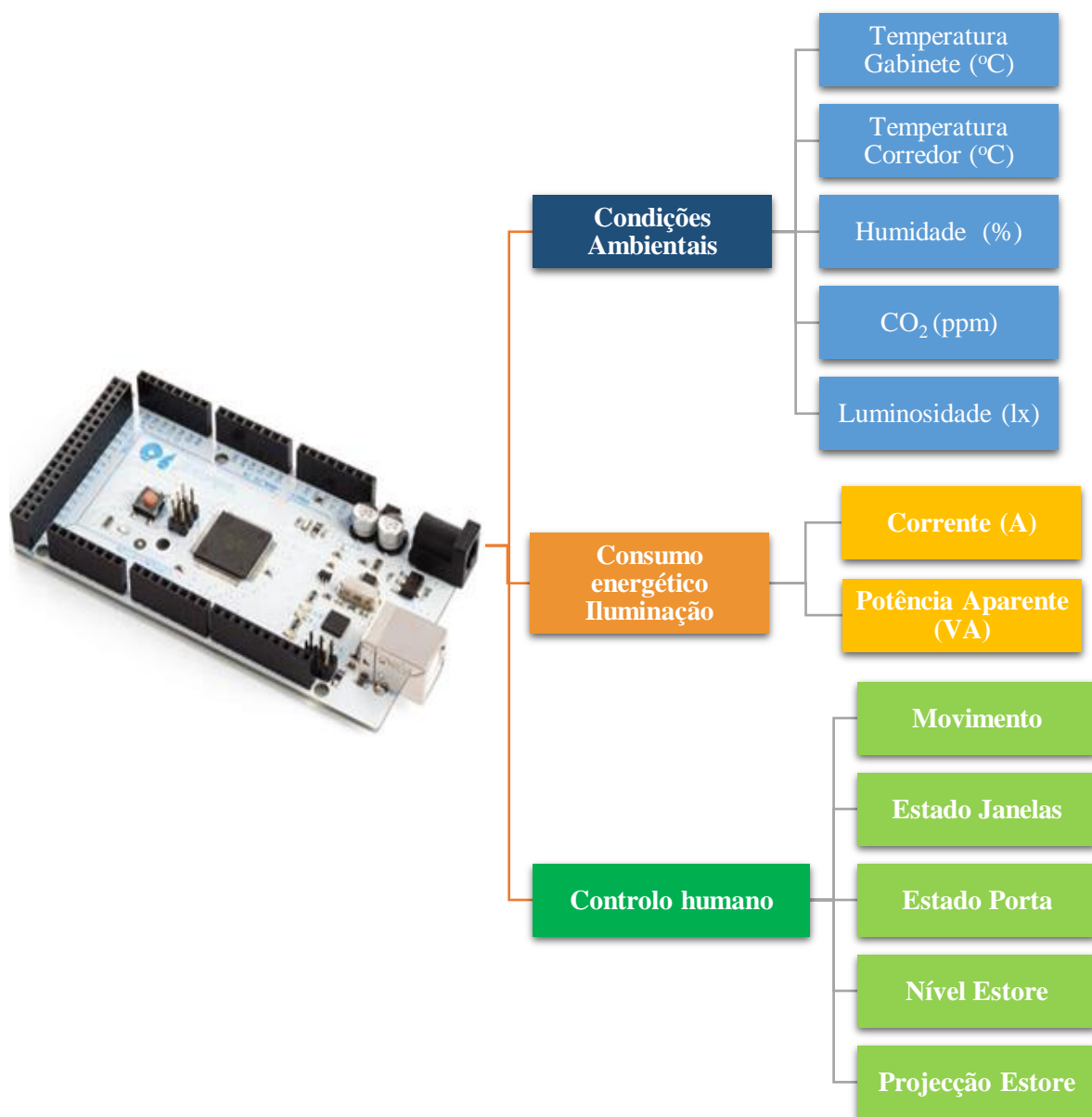


Figura 4. 1 - Esquema geral do SMEC

Aquando da escolha dos componentes foram tidos em conta diversos fatores:


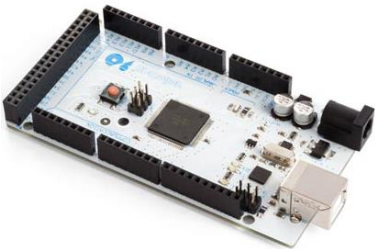
- Baixo custo;
- Facilidade de programação;
- Existência de bibliotecas pré-programadas;
- Gama de medição;
- Erros associados;
- Disponibilidade imediata ou no máximo 2 dias.

Uma vez que se pretende que o SMEC funcione sem precisar de estar ligado ao computador, como fonte de alimentação foi utilizado o mesmo cabo USB que serve para ligação ao computador, em conjunto com um vulgar carregador de telemóvel com entrada USB.

3.2 Arduíno

Inicialmente foi utilizado o Arduíno Uno com 14 portas digitais, 6 analógicas e com 32K de memória, no entanto como este não oferecia as características necessárias para conectar todo o equipamento (*shield ethernet*, sensores e memória), foi escolhido o Arduíno Mega, que além de um processador melhor, e uma maior memória, dispõe de 54 portas digitais e 16 analógicas.

Tabela 4. 1 Especificações das placas Arduíno [27]

		
	Arduíno Uno	Arduíno Mega
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560
Portas digitais	14	54
Portas PWM	6	15
Portas analógicas	6	16
Portas c/ interrupção	2 e 3	2, 3, 18, 19, 20 e 21
Memória	32K	256K
Clock	16Mhz	16Mhz
Alimentação externa	Sim	Sim
Tensão de operação	5V	5V
Corrente máxima portas	40mA	40mA
Alimentação	7-12V	7-12V

A placa tem capacidade para importar e exportar conteúdo e utiliza a linguagem C/C++ para programação, através de uma plataforma própria, Arduíno IDE, que conta com uma biblioteca de

funções na mesma linguagem chamada *Wiring*, que torna os comandos de entrada e saída muito mais fáceis [28].

As grandes vantagens do microcontrolador Arduino, comparativamente com outros microcontroladores, são:

- Possibilidade de interligação com outros módulos ou *shields*, uma vez que devido à enorme quantidade de *shields*, possibilita a realização de diversas funções específicas, desde sistemas de comunicação sem fios, comunicação via Ethernet, gravação de dados em cartão de memória, envio de mensagens ao utilizador, entre outros;
- Possuir uma grande comunidade on-line que estimula o desenvolvimento e permite a rápida prototipagem e depuração;
- Baixo custo e grande opção de escolha dos componentes.

Bibliotecas

Uma biblioteca é um fragmento de software que fornece funcionalidade específica a um programa. O seu uso simplifica o desenvolvimento de aplicações, pois o código da biblioteca já está pronto, precisando apenas de ser incorporado no programa em desenvolvimento para que suas funções possam ser acedidas e utilizadas.

Na conceção do SMEC foram utilizadas as seguintes bibliotecas [29]:

- **Padrão:**
 - ***Ethernet*** - Permite conectar o Arduino à Ethernet usando um shield Ethernet;
 - ***SD*** - Permite escrever e ler dados em cartões de memória SD/SDHC.
 - ***SPI*** - Comunicação com dispositivos usando o barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*).
- **Adicionais:**
 - ***DS1307*** - Relógio (*real time clock*);
 - ***cactus_io_AM2302*** - Sensor de temperatura e humidade do gabinete, AM2302;
 - ***DallasTemperature*** - Sensor de Temperatura do corredor, DS18B20;
 - ***OneWire*** - Comunicação com qualquer dispositivo onewire;
 - ***MQ135*** - Sensor de CO₂, converte a leitura do MQ135 em ppm de CO₂;
 - ***EmoLib*** - utilizada para o sensor SCT-03 de modo a medir a corrente (A);
 - ***Encoder*** - Permite aceder e utilizar o encoder;

3.3 Comunicação

O Arduino permite várias formas de comunicação dos dados:

- **USB:** é utilizada para programar o Arduino, sendo esta a única forma de carregar o *sketch* desenvolvido no Arduino IDE e também para conseguir visualizar o serial monitor. Também pode servir para alimentar o Arduino quando ligado um carregador USB [30]
- **SPI:** (*Serial Peripheral Interface*) Protocolo que permite a ligação do Arduino a diversos componentes com comunicação de curta distância. Neste caso é utilizado entre o *shield de ethernet* e o Arduino, sendo indispensável para guardar os dados produzidos pelo Arduino, pois permite a sincronização de séries de dados (Arduino, 2012) [31].

- Utiliza os pinos 10, 11, 12 e 13. Pino 4 caso se utilize o cartão microSD;
- Necessita das bibliotecas SPI.h, SD.h para o Cartão MicroSD e Ethernet.h para *ethernet* [31].
- **OneWire:** Tipo de comunicação que provê dados de baixa velocidade, sinalização e sinal único de energia. Este é utilizado em funções digitais e também em instrumentos de medição de temperatura (termómetro).
 - Neste caso o *OneWire* é utilizado para o sensor de temperatura DS18B20 que além da sua própria biblioteca, recorre à biblioteca *oneWire*.
- **Internet das Coisas (IoT-Internet of Things):** permite conectar dispositivos eletrónicos utilizados no dia-a-dia tais como eletrodomésticos, sensores, máquinas industriais, meios de transporte etc, à Internet.
 - **Ubidots:** site/plataforma de IOT que permite, armazenar dados na nuvem, criar visualizações customizadas e em tempo real da informação recolhida, tais como gráficos, tabelas, indicadores, etc, bem como importar essas visualizações e ainda permite a criação de eventos relacionados com os dados definidos, através de email, sms, *webHook* e a criação de uma variável específica. Tem bibliotecas específicas para cada plataforma, tais como Arduino, *Particle*, *Raspberry Pi*, ESP8266, entre outras, sendo intuitiva e de fácil utilização [32].

O Ubidots oferece visualização de dados em tempo real bem como ferramentas para manipulação de dados, no entanto, com conta de estudante apenas permite o download de 500 pontos de cada sensor, o que inviabiliza a sua utilização como meio de aquisição e tratamento de dados.

3.4 Shields e Sensores

A escolha dos sensores corretos acarreta uma grande importância para este caso de estudo, uma vez que como este é um sistema de monitorização energética e comportamental que tem por base normas Nacionais e Europeias, tem de conseguir ser o mais preciso possível para que possa ser fiável. Como já foi explicado anteriormente, para a escolha dos sensores foi tido em conta o binómio custo/qualidade, bem como a sua adaptação ao projeto em questão e a possibilidade de entrega imediata.

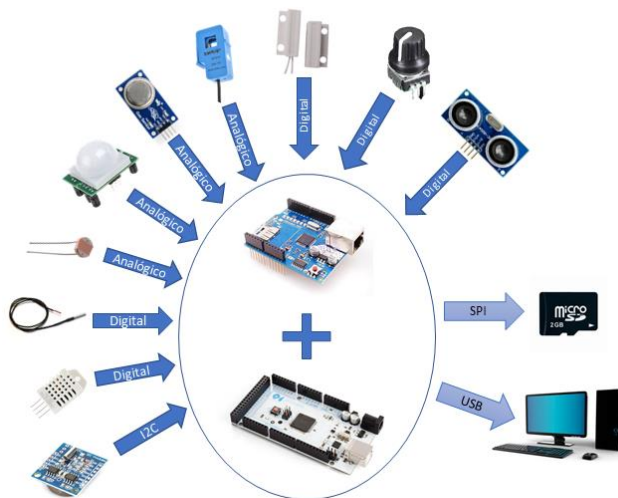


Figura 4. 2 – Constituição do SMEC

Ethernet Shield Rev.3

Utilizado para gravar as informações num cartão microSD através da biblioteca SD.h. ou fazer a ligação à Ethernet, partilhando o conteúdo numa pagina web. Este comunica com o Arduino via SPI.



Figura 4. 3 – Shield Ethernet

Este shield é compatível com o Arduino Uno e Arduino Mega utilizando os seguintes pinos:

- Comunicação SPI: pinos digitais 11, 12 e 13 e também os pinos 50, 51, e 52 no Arduino Mega. Utiliza a biblioteca SPI.h;
- Ethernet: pino 10 é usado para selecionar o W5100 através da biblioteca Ethernet.h;
- Cartão SD: pino 4 e biblioteca SD.h.

Estes pinos não podem ser usados para geral I / O, ou seja, conectados a outros sensores, pois estão reservados para este *shield*. No Arduino mega, o pino ss hardware, 53, não é usado para selecionar o W5100 ou o cartão SD, mas deve ser mantido como uma saída ou a interface SI não vai funcionar. Uma das limitações deste *shield* é não permitir utilizar a o W5100 e o cartão SD ao mesmo tempo, ou seja, apenas um pode estar ativo de cada vez.

Este *shield de ethernet* e contém uma série de informativos LED s de como a perceber a fase de funcionamento [33]:

- PWR: indica que a placa e o *shield* são motorizados;
- ligação: indica a presença de uma ligação de rede e pisca quando a blindagem transmite ou recebe dados
- full: indica que a conexão de rede é full duplex
- 100m: indica a presença de um 100 MB / s conexão de rede (em oposição a 10 Mb / s);
- RX: pisca quando o shield recebe dados
- tx: pisca quando o shield envia dados
- coll: pisca quando são detetadas colisões de rede

Relógio: Tiny RTC



Figura 4. 4 - RTC

O DS1307 é um *Tiny RTC* é capaz de armazenar e fornecer informações completas de data como dia da semana, dia do mês, mês, ano e além é claro, das funções de horas, minutos e segundos, nos formatos de 12 ou 24 horas, sendo que meses com menos de 31 dias e anos bissextos são ajustados automaticamente.

Este é um dispositivo que funciona com comunicação e é necessário pois o Arduino apenas possui um oscilador (*clock*) que só permite estabelecer um padrão de frequência responsável pelo controlo dos ciclos eletrónicos da própria placa, não fornecendo nenhum dado de data e hora.

Neste projeto assume extrema importância uma vez que é feito um estudo do comportamento humano, sendo necessário por isso a informação horária e da data, sendo que dispõe da biblioteca DS1307.h que permite programa-lo mais facilmente [34]:

Sensor de temperatura e humidade do gabinete: AM2302



Figura 4. 5 - AM 2302

Neste sistema vai ser utilizado para monitorizar a temperatura e humidade do gabinete em conjunto com a biblioteca cactus_io_AM2302.h [36].

Sensor de temperatura e humidade com baixo consumo de corrente. Constituindo por duas partes, um sensor capacitivo de humidade e um termistor. Também tem chip que faz alguma conversão analógica para digital [35].

- Faixa leitura de humidade: 0-100%
- Precisão humidade: 5%
- Faixa leitura de temperatura: -40°C-125°C
- Precisão temperatura: +/-0,5 °C

Sensor de temperatura: DS18B20



Figura 4. 6 – DS18B20

O DS18B20 [37] é um sensor de temperatura digital de 1 fio que mede em graus Celsius com precisão de 9 a 12 bits, de -55 a 125°C (+/- 0,5). Como cada sensor tem um número de série exclusivo de 64 bits associado, permite que um grande número de sensores seja usado em um barramento de dados. Além disso, esta sonda térmica não requer nenhuma fonte de alimentação externa, pois produz energia a partir da linha de dados, funcionando com uma tensão de 3V a 5.5V.

Como este sensor encontra-se revestido com aço inoxidável pode também ser utilizado para medir a temperatura de líquidos.

Neste sistema é utilizado para medir a temperatura do corredor que dá para a nave, requerendo para ligação ao Arduino as bibliotecas oneWire.h e a DallasTemperature.h.

Sensor de iluminação: Photoresistor



Figura 4. 7 - Photoresistor

Um *photoresistor*/fotocélula é um sensor, sensível a luz, que tem por finalidade limitar a corrente elétrica que passa sobre ele quando interage com a esta. Quanto mais luz menor a resistência, e da mesma forma, quanto menos luz maior a resistência oferecida.

Na figura 4. 8 pode observar-se aproximadamente a resistência do sensor em diferentes níveis de luz:

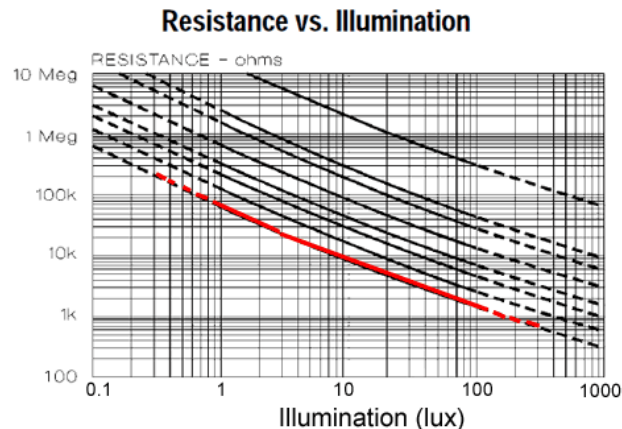


Figura 4. 8 – Variação da resistência do sensor com a iluminação [38]

Este sensor é pequeno, barato, de baixa potência, fácil de usar e não se desgasta com o tempo. Por essas razões, estes sensores costumam aparecer em brinquedos, aparelhos e gadgets, utilizados como sensor de proximidade, um sensor de luminosidade, no controle de flashes de câmaras, alarmes de segurança, etc. No entanto cada sensor comporta-se de forma ligeiramente diferente e não é possível a sua calibração.

Neste sistema será utilizado para medir a iluminância (lux) do gabinete, de modo a avaliar se existe a iluminância mínima para conforto.

Sensor de movimento: PIR



Figura 4. 9 - PIR

O PIR é um sensor de infravermelhos que usa piroeletricidade para detetar diferentes níveis de radiação infravermelha e consequentemente movimento de qualquer criatura de sangue quente e outras fontes de calor. Este é um sensor de infravermelhos passivo, uma vez que não projeta qualquer tipo de feixe [39].

O Este é dividido em duas partes, sendo cada uma feita de um material especial que é sensível ao infravermelho, sendo que as duas partes “veem” uma distância passada (a sensibilidade do sensor). Quando este está inativo, ambas as partes detetam a mesma quantidade de radiação, a quantidade ambiental irradiada da sala, paredes ou exterior. Quando um corpo quente como um ser humano ou animal passa, primeiro intercepta metade do sensor PIR, o que provoca uma mudança diferencial positiva entre as duas metades. Quando o corpo quente sai da área de deteção, acontece o inverso, pelo que o sensor gera uma mudança diferencial negativa. Estes pulsos de mudança são o que é detetado.

De modo a aumentar o seu alcance é utilizado uma lente de plástico que cria uma gama de deteção de diferentes áreas intercaladas entre si.

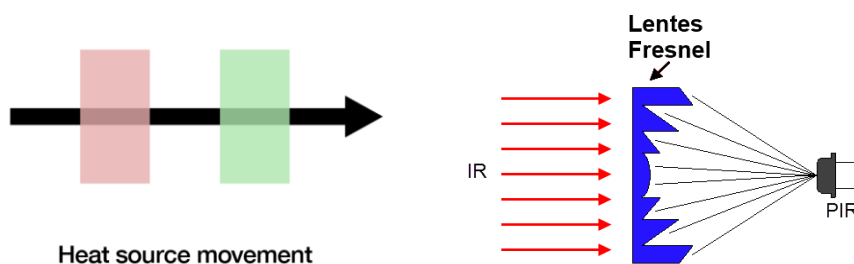


Figura 4. 10– Funcionamento do PIR

Em baixo do sensor, existem dois potenciômetros que permitem ajustar o sensor de modo a otimizar a sua aplicação, figura 4.11:

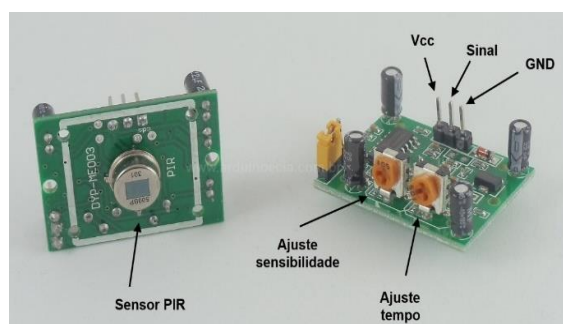


Figura 4. 11 – Componentes do PIR

Neste sistema vai ser utilizado para saber se existem ocupantes no gabinete e de forma a ser possível obter um valor para o movimento é utilizado `analogRead(PIR_PIN)` em que quando há movimento os valores lidos são >700 e quando não há, <20 . Desta forma é possível colocar numa tabela ou gráfico a sua variação ao longo do tempo.

Sensor de CO₂: MQ135



Figura 4. 10 – MQ135

O MQ-135 é um sensor capaz de detetar concentrações de gases nocivos à qualidade do Ar dos 10ppm-1000ppm, tais como: Amônia, Enxofre, Compostos Aromáticos, Sulfeto, Vapores de Benzeno, Dióxido de Carbono, entre outros gases, com concentrações na faixa de 100 a 10.000ppm.

Neste sistema de monitorização vai ser utilizado para medir os níveis de CO₂ interiores (ppm), uma vez que a sua concentração média na atmosfera é de aproximadamente 409ppm [40].

Como se pode verificar na *datasheet* deste sensor, é sensível a CO₂, Álcool, Benzeno, NO_x, NH₃ e que na figura a baixo podemos observar mudança de resistência dependendo da concentração desses gases no ar ambiente em ppm (do volume total de gás). Podemos então concluir que embora a sensibilidade geral seja quase igual para todos os gases, como o CO₂ é o 4º gás mais abundante na atmosfera terrestre com concentração de cerca de 400ppm, todos os outros gases detetados são menos comuns, portanto, numa atmosfera normal, este sensor, com a calibração correta vai detetar principalmente CO₂.

Assim, na biblioteca, MQ135.h foram calculados alguns dados, tendo em conta o a figura 4.13

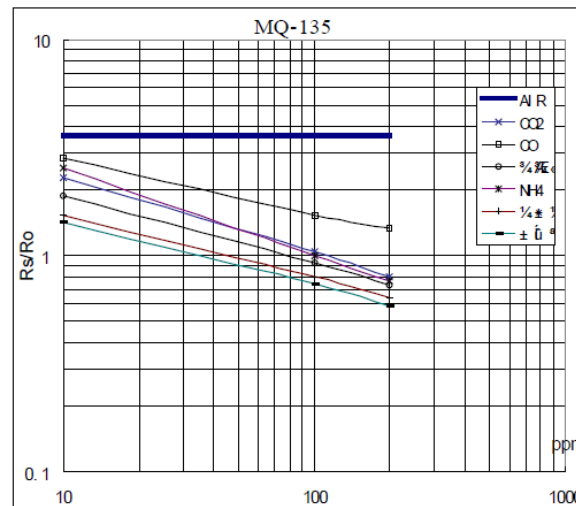


Figura 4. 11 – Calibração do MQ 135 [41]

Como o gráfico apresenta funções do tipo $y = a \cdot x^b$, pode-se dizer que:

$$ppm * a \times (Rs/Ro)^b \quad [4.1]$$

onde,

$$Ro = Rs \times \sqrt{(a/ppm)^b} = Rs \times \ln^{(a/ppm)/b} \quad [4.2]$$

Assim sendo, para calibrar o sensor precisamos apenas de saber a concentração do mesmo na atmosfera, que é disponibilizado no caso do CO₂ em co2.earth [40] e assim ler o valor de saída de resistência do sensor (Rs),

e consequentemente calcular o valor Ro calibrado. Logo, pela datasheet, [4.3]

$$Rs/Ro_{limit} = (ppm/a)^{(1/b)}$$

Todos estes cálculos são efetuados na biblioteca MQ135.h de modo a simplificar o código, permitindo assim avaliar a qualidade do ar interior.

Sensor de corrente: SCT-013-100



Figura 4. 12 – SCT-013-100

O sensor SCT-013-020 é um sensor de corrente não invasivo que suporta correntes de até 100A. Este sensor é utilizado para medir a corrente da iluminação do gabinete.

Estes sensores agem como indutores, uma vez que respondem ao campo magnético em torno de um condutor com corrente. Podem ser montados em painéis existentes, como centros de controle ou centros de carga, para medir ou monitorar a corrente e potência, sendo que podem ser montados sem remover os cabos existentes para facilitar a instalação, no entanto há que ter atenção pois estes têm de envolver apenas uma das fases do fio, pois se forem colocados os 2 fios dentro do sensor, os valores anulam-se ou mostra um valor incorreto.

De modo a gerar a variação de tensão que é preciso para efetuar a leitura no Arduino é necessário calcular o “burden resistor” (“resistor de carga”) e o valor de calibração [42] através de:

<http://tyler.anairo.com/projects/open-energy-monitor-calculator> [43]

Deste modo o valor de calibração do sensor é:

$$\bullet \text{ Calibração} = \frac{N^{\circ} \text{ turns}}{\text{Burden resistance}} = \frac{2000}{35} \approx 57,1 \quad [4.5]$$

Deste modo, e sabendo que a tensão da rede em Portugal é de 220V já é possível utilizar a biblioteca EmoLib.h para o cálculo da corrente e potência aparente consumida pelas lâmpadas do gabinete.

Sensor de portas e janelas: Magnetic contac switch (MCS)



Figura 4. 13 - MCS

O magnetic contact switch [44] é basicamente um reed switch envolto em plástico, formado por duas pequenas lâminas de metal que se encostam e fecham um contato na presença de um campo magnético.

O circuito elétrico fecha quando o íman é aproximado do switch, pelo menos 13mm. Quando o íman é afastado do switch o circuito é aberto.

Sendo que neste sistema vai ser utilizado para detetar se as portas e janelas estão abertas ou fechadas, e de modo a ser possível traduzir numa tabela ou gráfico, através de um digitalRead vamos obter o valor 1 sempre que a porta, janela 1 ou janela 2 estiverem abertas e 0 quando estas se encontrarem fechadas.

De forma a que estes sensores sejam o mais correto possíveis e que não tenham interferência de outros sensores existentes no circuito, é necessário ativar as resistências internas do Arduino. Para tal apenas é necessário declarar o sensor e colocar em modo HIGH.

Deste modo, enquanto as portas ou janelas estiverem abertas, a resistência interna do microcontrolador, manterá a entrada em 1 ou HIGH e ao fechar passa a 0 ou LOW. Ao ativar esta resistência o sensor passa a ser ligado ao GND e ao pino digital escolhido.

Sensor nível do estore: Rotary encoder



Figura 4. 14 – Rotary Encoder

O encoder rotativo (*Rotary encoder*) é um componente utilizado para conversão de movimentos rotativos (ou lineares) em impulsos elétricos de onda quadrada. Esses impulsos são lidos por um microcontrolador (Arduino), e geram uma quantidade exata de impulsos por volta.

Estes são semelhantes aos potenciômetros, no entanto rodam continuamente para ambos os lados (sentido dos ponteiros do relógio e sentido contrario aos ponteiros do relógio).

Ao movimentar o encoder, em qualquer direção, este deteta buracos ou marcas à medida que passam 2 posições. Pode-se observar pela imagem a baixo que quando o disco azul gira no sentido horário, as alterações são detetadas primeiro pelo pino 1 e, em seguida, pelo pino 2. Quando gira no sentido anti-horário, o pino 2 é primeiro para detetar mudanças. Este esquema é chamado de "codificação em quadratura" porque as formas de onda detetadas pelos 2 pinos são 90 graus fora de fase.

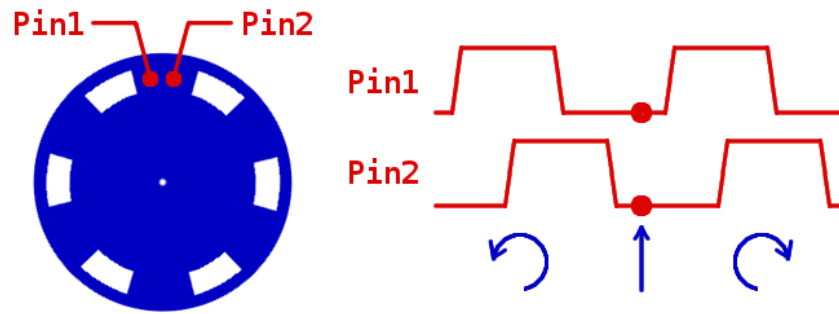


Figura 4. 15 – Funcionamento do Rotary encoder [45]

A biblioteca Encoder.h utilizada monitora os 2 pinos e atualiza a contagem da mudança relativa na posição, atualizando a sua contagem em cada alteração. De modo a garantir melhor performance, devem ser utilizados dois pinos interruptos. No Arduino Mega correspondem aos pinos 2, 3, 18, 19, 20 e 21.

Este utiliza a biblioteca Encoder.h, o que vai permitir ser utilizado para calcular a abertura do estore, utilizando a rotação da fita do mesmo, uma vez que sabemos o seu comprimento total e deste modo sabemos a distância de abertura do estore.

Para tal, no enrolador de estore foi feito um rasgo para passar o encoder e colocadas molas de forma a que este esteja sempre em contacto com a fita, como se pode ver pelas imagens a baixo.

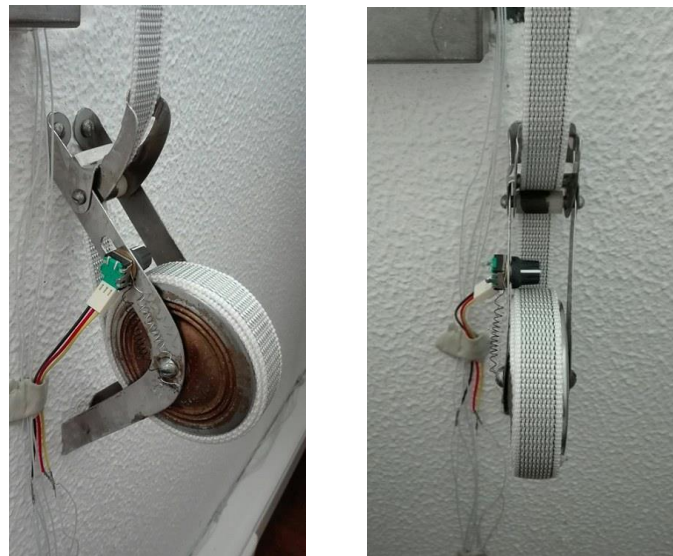


Figura 4. 16 – Instalação do encoder na fita do estore

Uma vez que o encoder ligado ao Arduino tem um certo erro quando é rodado muito depressa, é importante diminuir ao máximo esse mesmo erro e a sua propagação. Como tal, uma solução foi colocar o encoder a zero cada vez que este atinge valores negativos, ou seja, cada vez que o estore se encontra totalmente aberto. Esta solução tanto vai diminuir o erro de uma abertura de estore como evitar a propagação deste no futuro. De modo a calcular a distância total do estore foi utilizada a seguinte relação:

$$\text{Estore final(cm)} = \frac{P_M \times E_T}{P_T} = \frac{P_M \times 116}{1784} = P_M \times 0,07 \quad [4.6]$$

Sendo E_T o comprimento do estore (111cm), P_T o total de passos para este estar fechado (em média 1784) e P_M os passos medidos pelo encoder.

Sensor projeção estore: HC-SR04

Figura 4. 17 – HC SR04

O HC-SR04 [46] é um sensor que utiliza sinais ultrassónicos (40 KHz, acima da capacidade de audição do ouvido humano- 20 KHz), para determinar a distância entre o sensor e o obstáculo. Este pode medir distâncias entre 2 cm e 4 m, com precisão de 3mm e tem um ângulo de deteção de aproximadamente 15 graus.

Neste sistema é utilizado para medir a projeção do estore, como se pode ver pela imagem abaixo, figura 4.20. Como se pode verificar, o sensor de ultrassons não foi colocado na extremidade inferior do estore, embora fosse o processo de medição mais fácil, dado que este representaria um erro enorme, uma vez que devido ao comprimento dos fios de ligação até ao Arduino este só deteta no máximo 8cm.



Figura 4. 18 – Colocação do HC-SR04 no estore

Deste modo o sensor foi colocado perto do limiar do seu alcance, estando bem mais acima, sendo que para saber a projeção fina vai ser usada a seguinte relação:

$$\text{Distância final(cm)} = \frac{d_{M1} \times d_2}{d_1} = \frac{d_{M1} \times 54}{8} = d_{M1} \times 6,65 \quad [4.7]$$

em que d_{M1} é a distância medida pelo sensor no ponto 1 mais 1cm de comprimento do sensor, d_2 é a distância máxima que se pode projetar o estore, no ponto 2 e d_1 é a distância máxima que se pode projetar o estore, no ponto 1.

3.5 Ensaios de validação e calibração do SMEC

Os seguintes ensaios de validação e calibração foram feitos utilizando sensores calibrados de modo a verificar a veracidade dos valores obtidos com o SMEC.

- Corrente e energia:

Foi utilizado o Energy monitor 3000 para comparar e validar os valores de corrente e potência aparente (VA) obtidos com o SMEC na tomada onde se encontra ligada a tripla com os consumíveis.

Após vários testes onde foi ajustada a constante de calibração do sensor de corrente, sendo o melhor resultado obtido apresenta um desvio padrão de 8,6 W e as características que se observa na figura 4.22, onde se depreende que o sensor deteta melhor potências mais elevadas. Esta diferença pode ser devido à presença de outros sensores na *breadboard*, o que faz com que a corrente de alimentação não seja a ideal, provocando o aumento do erro de leitura do sensor.

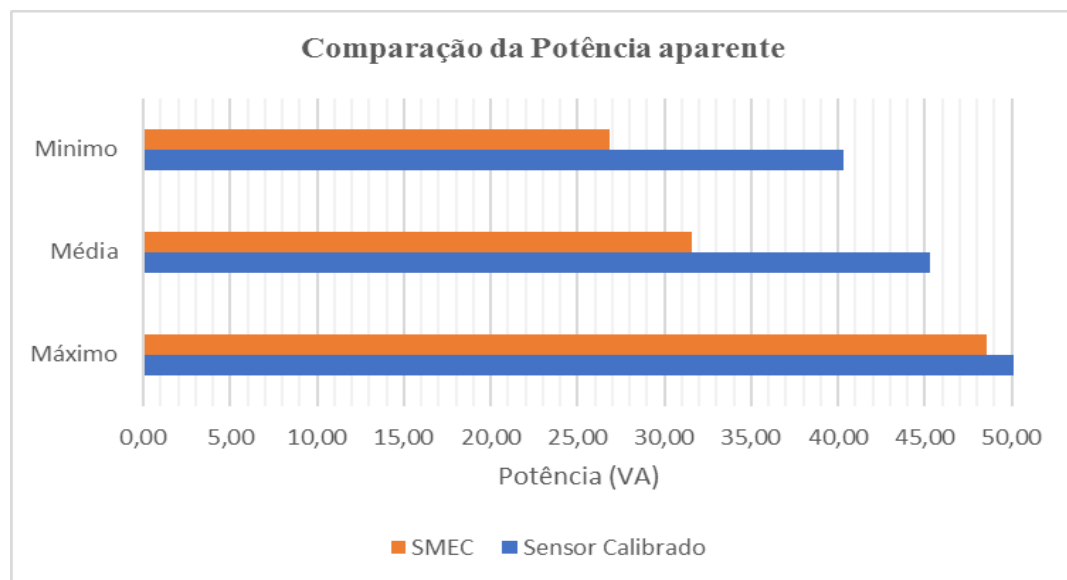


Figura 4. 19 - Gráfico de comparação da Potência aparente lida no SMEC e no sensor oficial

De seguida colocou-se o sensor de corrente a medir o consumo das lâmpadas fluorescentes uma vez que apresentam a mesma grandeza. Os resultados obtidos embora não sejam idênticos ao do sensor calibrado quando testado na tomada, permite estudar o comportamento do utilizador na utilização de iluminação artificial, devido à ordem de grandeza da potência das lâmpadas, no entanto, devido ao erro associado a este sensor, não permite grande precisão na medição nos seus consumos.

- Concentração de CO₂:

Foi utilizado o Microtector II G460 para comparar a concentração de CO₂ da sala com a obtida com o SMEC.

Como podemos observar pelo gráfico na figura 4.24, as curvas sobrepõem-se, havendo apenas pequenos desvios que podem ser explicados pela exatidão menor do sensor calibrado. Assim sendo, e com um desvio padrão de 37ppm pode dizer-se que este sensor está validado para a avaliação do conforto adaptativo humano num escritório.

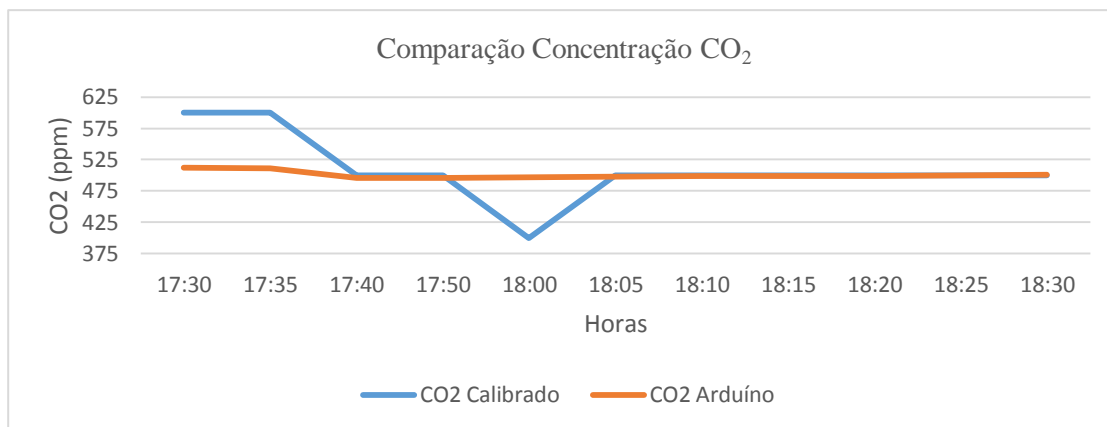


Figura 4. 22 -Gráfico de comparação do nível de CO₂ do Arduino e sensor oficial

- Temperatura e Humidade do gabinete:

Foi utilizado o Hygrolog NT2-D-CL para comparar a temperatura e humidade do gabinete e com a obtida com o SMEC.

Temperatura:

No gráfico 4.24 observa-se a comparação da temperatura interior medida pelo SMEC e o sensor calibrado, Rotronic, onde o desvio padrão é de 0,46°C e as curvas seguem a mesma tendência. Assim sendo e devido ao tipo de medição desejada, considera-se a medição da temperatura validada.

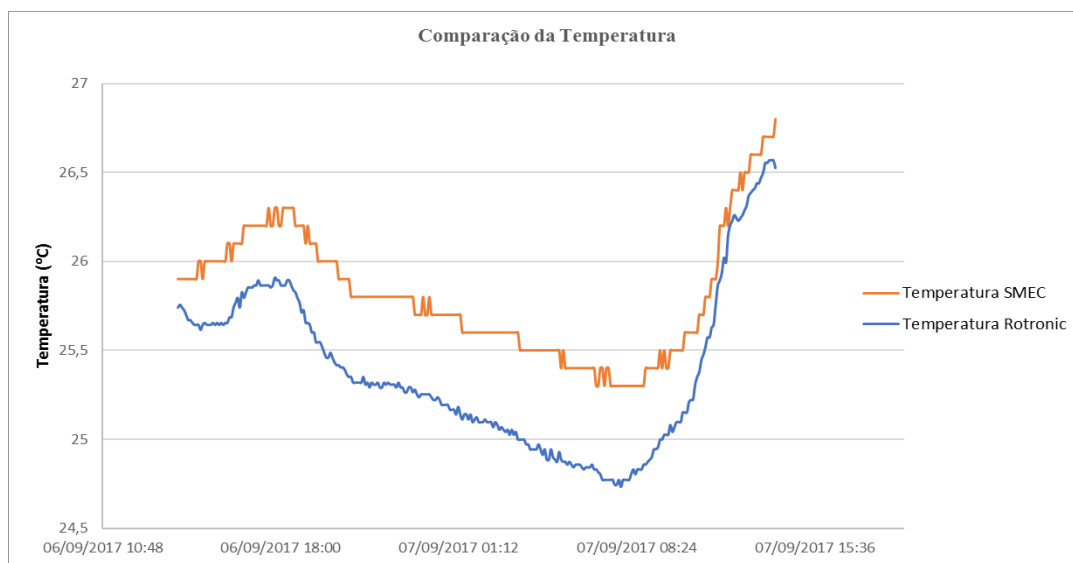


Figura 4. 23 - Gráfico de comparação da temperatura do Arduino e sensor oficial

Humidade relativa:

Como se pode observar no gráfico 4.25, as curvas de humidade relativa medidas pelo SMEC e pelo sensor calibrado são quase idênticas e como apresentam um desvio padrão de 4,38% considera-se a medição da Humidade relativa validada.

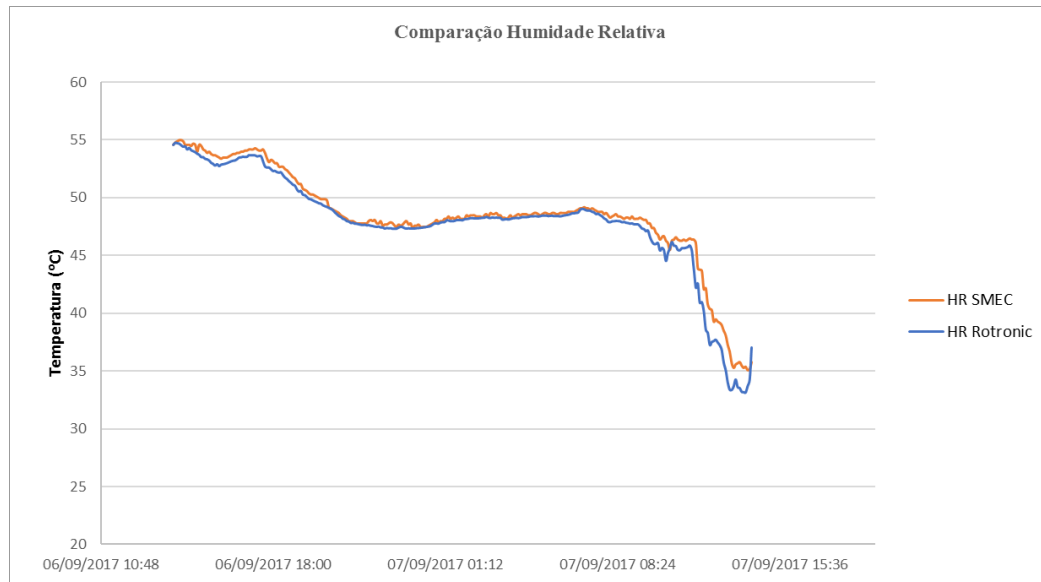


Figura 3.24 - Gráfico de comparação da Humidade Relativa do Arduino e sensor oficial

Assim sendo, pode dizer-se que devido aos desvios padrão serem baixos, é plausível a utilização deste sensor de baixo custo.

- **Iluminância:**

Foi utilizado o Tesco 540 para comparar a iluminância (lux) do gabinete com a obtida com o Arduino. Foram realizadas medições de 5 em 5 minutos e comparadas com o gráfico a baixo. Como se pode observar as curvas dos sensores do Arduino e do calibrado mostram o mesmo comportamento, no entanto com um desfasamento, sendo o desvio padrão de 136 lux, o que se revela um pouco aquém, para a avaliação da luminosidade, no entanto foi a combinação de resistências, que melhor refletiu a curva ao longo do dia quando combinado com os outros sensores na *breadboard*, pois quando instalado individualmente apresenta valores muito próximos do sensor oficial. Como este é um sensor extremamente simples não permite calibração e é facilmente afetado pela presença de outros sensores na *breadboard*. Apesar desta diferença, este sensor ainda permite avaliar o comportamento do utilizador do gabinete, no entanto sem grande precisão.

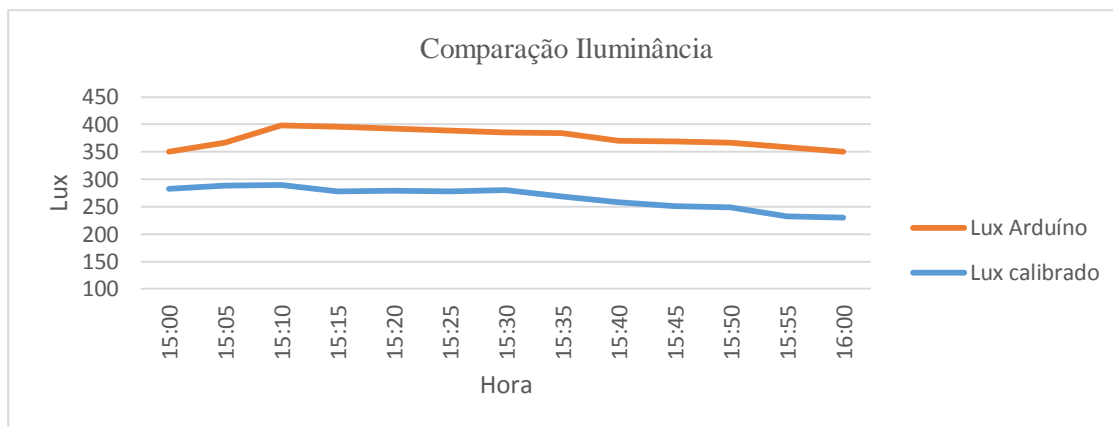


Figura 3.25 - Gráfico de comparação da iluminância do Arduino e sensor oficial

Os seguintes ensaio foram validados com confirmação visual devido às suas características:

- Porta e janelas:
Uma vez que os sensores das portas e janelas são do tipo on/of, foi verificado um a um e depois em conjunto se aquando da sua abertura, se os valores passavam de 0 a 1 e se se mantinha o valor caso o estado se mantivesse. Desta forma foi possível validar que 0 é para o estado fechado e 1 aberto.
- Nível e projeção do estore:

Quer o nível e a projeção do estore foram validados através de medição com fita métrica dos mesmos e comparados com o Arduino.

A baixo encontra-se a montagem do SMEC e o aspeto final:

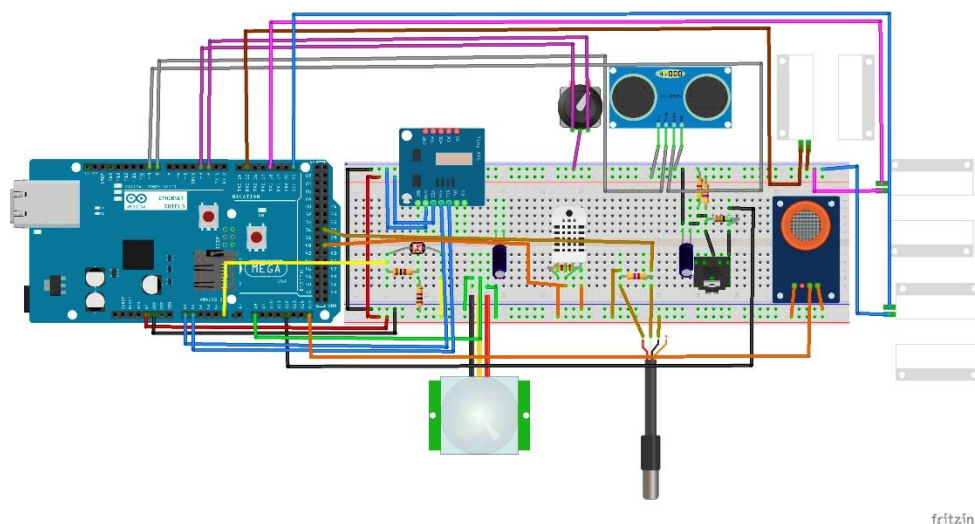


Figura 4. 26 – Esquema de montagem do SMEC

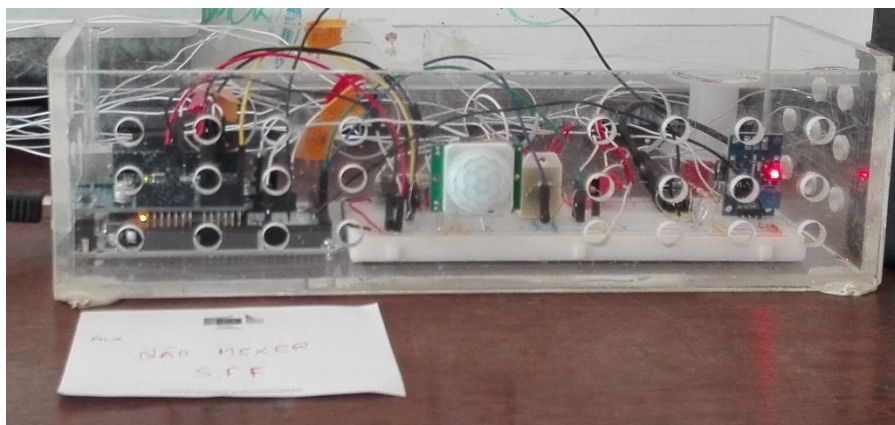


Figura 4. 27 – Aspeto do SMEC

Em anexo encontra-se o código Arduino do SMEC, assim como os desenhos do protótipo da caixa onde foi montado.

3.6 Especificações do desempenho do SMEC

Na tabela 4.2 indicam-se as gamas de funcionamento e estimativa do erro do SMEC.

Tabela 4. 2 – Especificações de desempenho do SMEC

Parâmetro	Gama de medições		Erro
Temperatura gabinete	-40°C	80°C	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura Corredor	-55°C	125°C	$\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Humidade gabinete	0%	99,9%	$\pm 2\%$
Luminosidade	0 lux	1000 lux	10 lux
PIR	0m	7m	-----
CO2	10ppm	1000ppm	-----
Corrente Lâmpadas	0A	100A	$\pm 3\%$
Portas e janelas	0	1	-----
Nível do estore	0°	360°	2cm
Projeção do estore	2cm	8cm*	-----

*Na projeção do estore pode ler-se dois valores de máxima, 500cm e 8cm, uma vez que quando este sensor é ligado ao Arduino com cabos muito longos (6m), apenas consegue medir no máximo 8cm.

3.7 Custos

Uma vez que se pretende que o SMEC seja de baixo custo, é importante avaliar onde comprar cada elemento e contabilizar logo à partida a quantidade de fio necessária.

Assim sendo, em Portugal este sistema custaria 140,93€ e mandando vir da china, 37,17€, como se pode verificar na tabela a baixo.

Embora comprar em Portugal represente um custo muito maior, é possível colocar o NIF e ter os dispositivos/componentes em 2 dias uteis no máximo ou ir buscar às lojas. Caso não seja necessário NIF, é aconselhável mandar vir tudo da China, comprando através do Aliexpress, tendo o cuidado de colocar apenas itens com envio gratuito, pois representa apenas 30% do custo em Portugal, no entanto o tempo de entrega pode ir até aos 60 dias.

Tabela 4. 3 – Custos dos componentes do SMEC

SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO ENERGÉTICA E COMPORTAMENTAL							
Componente	Custo unitário		Qty.	Custo total		Local de compra	
	PT	China		PT	China	Portugal	China
Arduíno Mega	24,11	5,71	1	24,11	5,71	ptrobotics.com	pt.aliexpress.com
Ethernet Shield	14,15	4,07	1	14,15	4,07	ptrobotics.com	pt.aliexpress.com
Breadboard 830	4,27	1,38	1	4,27	1,38	mauser.pt	pt.aliexpress.com
Jumpers	3,9	1,52	1	3,9	1,52	botnroll.com/pt	pt.aliexpress.com
Fio condutor (unifilar)	3,87	6,27	3	6,27	6,27	mauser.pt	mauser.pt
Resistencias+leds+cap	4,9	2,07	1	4,9	2,07	botnroll.com/pt	pt.aliexpress.com
RTC	3,17	0,35	1	3,17	0,35	ledsandchips.com	pt.aliexpress.com
AM2302	11,6	1,93	1	11,6	1,93	botnroll.com/	pt.aliexpress.com
DS18B20	2,65	0,51	1	2,65	0,51	mauser.pt	pt.aliexpress.com
MQ135	6,5	1,11	1	6,5	1,11	botnroll.com/	pt.aliexpress.com
PIR	4,61	0,63	1	4,61	0,63	ptrobotics.com	pt.aliexpress.com
Magnetic Contact Switch	4	0,49	3	12	1,47	ledsandchips.com	pt.aliexpress.com
HC-SR04	3,69	0,66	1	3,69	0,66	ptrobotics.com	pt.aliexpress.com
Rotary encoder	6,5	0,45	1	6,5	0,45	ledsandchips.com	pt.aliexpress.com
Photoresistor	0,25	3,7	2	23,9	7,4	mauser.pt	pt.aliexpress.com
SCT-013	11,95	0,04	2	0,32	0,08	ptrobotics.com	pt.aliexpress.com
Conector Jack 3.5	0,16	0,03	1	0,25	0,03	mauser.pt	pt.aliexpress.com
Cartão SD 2G	4,44	1,53	1	4,44	1,53	mauser.pt	mauser.pt
Portes Btnroll	3,7	0	1	3,7	0	botnroll.com/	
Total €				140,93	37,17		

No âmbito desta tese já tinha alguns dispositivos disponíveis, no entanto, os restantes foram comprados em sites/lojas portuguesas de modo a ser possível colocar o NIF da instituição de ensino ou de acolhimento e aí foi avaliado caso a caso onde cada componente teria menor custo.

4 Caso de estudo e resultados

4.1 Descrição

O SMEC foi integrado num gabinete localizado no 2º piso do edifício de componentes do LNEC que se localiza na cidade de Lisboa.

Nas secções seguintes efetua-se uma descrição do caso do estudo e dois resultados obtidos.

4.1.1 Clima

Em Lisboa, a classificação do clima é Csa de acordo com a Köppen e Geiger, ou seja, clima temperado com Verão quente e seco. A sua temperatura média anual registada entre 1971 e 2000 foi de 17°C e a pluviosidade de 691 mm. Já em 2016 a temperatura média subiu para 18 °C [24].

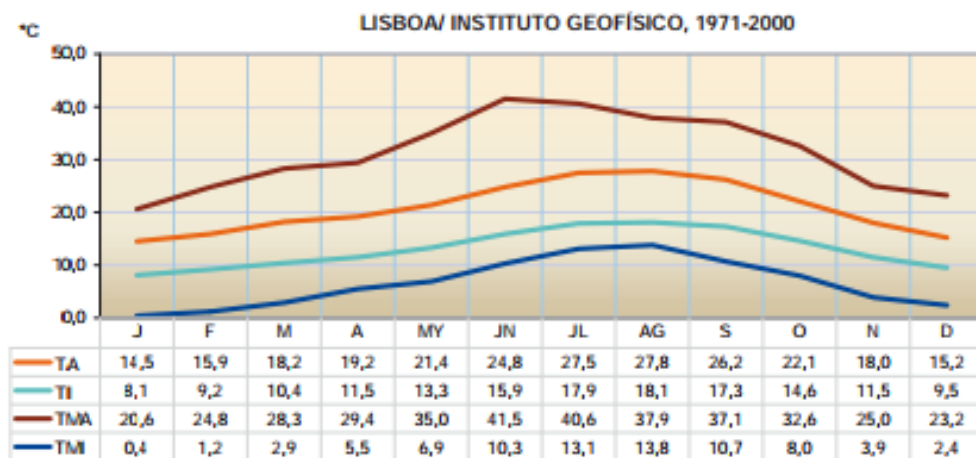


Figura 3. 1 – Variação das Temperaturas médias anuais

Onde TA: Temperatura Média da máxima, TI: Temperatura Média da mínima, TMA: Temperatura máxima absoluta e TMI: Temperatura mínima absoluta.

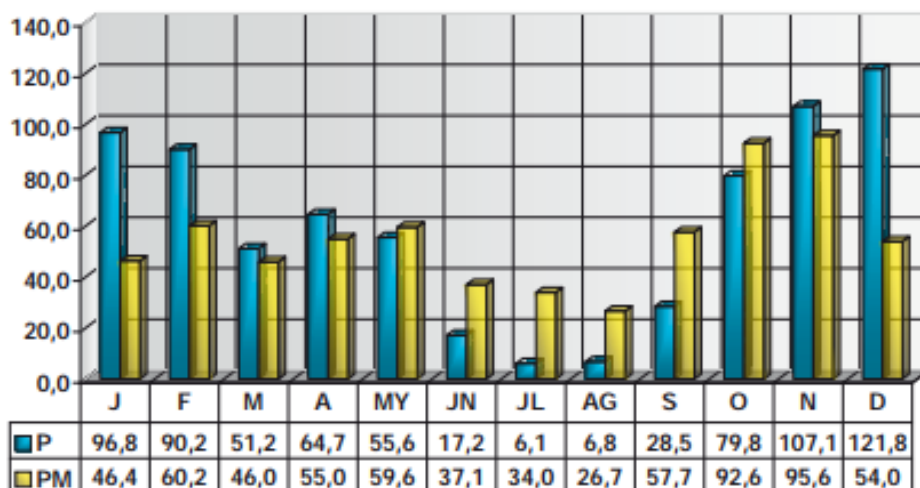


Figura 3. 2 – Precipitação média anual em Lisboa (1971 – 2000) [24]

Onde, P: Precipitação total e PM: Precipitação máxima diária

4.1.2 Edifício

Trata-se de um edifício de serviços, construído em 1980, com 1800m², com gabinetes individuais expostos a sul (625 m²), distribuídos por três pisos, nave de ensaios a norte com laboratórios (cerca de 75 m²) [25].

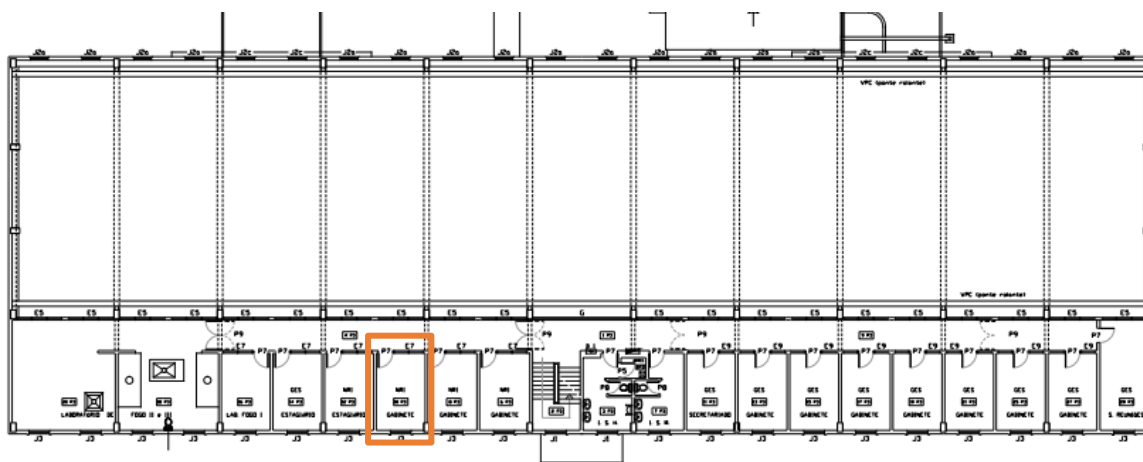


Figura 3. 3 – Planta do piso do edifício do caso de estudo

Como a fachada dos gabinetes tem exposição sul, tem uma importante incidência da radiação solar durante o dia tem grandes ganhos solares. Na fachada a norte existem janelas a toda a altura do edifício, que só recebem radiação solar direta ao final da tarde, tendo ganhos solares baixos. Nas restantes fachadas não existem janelas.

Aspetos de segurança inviabilizam que as janelas permaneçam abertas durante o período noturno.

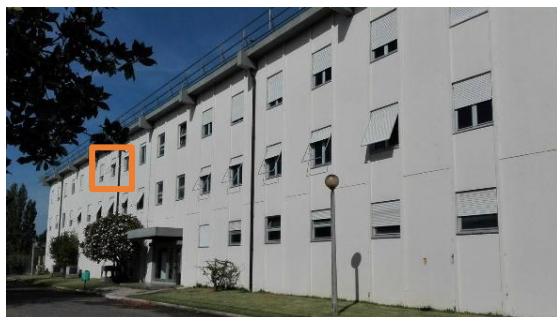


Figura 3. 4 – Fachada Sul



Figura 3. 5 – Fachada Norte

Quanto à utilização, este encontra-se ocupado maioritariamente no período laboral (8h- 18h), nos dias úteis (2^a a 6^a), podendo existir ocupação fora destes horários mas é residual.

4.1.3 O gabinete e instalação dos SMEC

O gabinete localiza-se no 2º piso do edifício, voltado a sul e dispõe de uma janela com duas folhas, dotada de um estore projetável para sombreamento e de uma porta que dá para o corredor em contacto com a nave. Este é um gabinete individual dotado de um aquecedor elétrico para controlo da temperatura ambiente, que é ligado automaticamente numa central, nos meses frios, e permite ao utilizador controlar a temperatura. Nos meses quentes o utilizador vai utilizar a ventilação natural através da janela e porta, uma vez que não existe ar-condicionado.

A iluminação é feita por lâmpadas fluorescentes, com balastros eletrónicos E tem uma potência aproximada de 216 (54*4) W [25]

No período de ensaio, o aquecimento está desligado, existindo ainda consumo de computadores e respetivos periféricos, que estejam a ser utilizados.



Figura 3. 6 –Gabinete do caso de estudo

4.2 Resultados

Uma vez que se pretende caracterizar o comportamento adaptativo humano e de que forma este influencia o seu conforto e consumo de energia, há que começar por perceber se as condições de conforto foram alcançadas ao longo do período de monitorização, seguido dos parâmetros de comportamento adaptativo e por fim, mas não menos importante o parâmetro de consumo de energia.

4.2.1 Parâmetros para apreciação de condições de conforto

Conforme descrito no capítulo 2.3.2, os parâmetros de conforto são:

- Temperatura: 22-27 °C e relacionada com a temperatura exterior,
- Qualidade do ar – CO₂: 800 ppm acima do exterior \approx 1200ppm,
- Qualidade do ar – HR: 20% < HR < 70%,
- Iluminação: $E_m > 500$ lx,

4.2.2 Apreciação das condições de conforto

4.2.3 Conforto térmico

Como podemos observar pela figura 5.1, de dia 23 até dia 24 às 03:40 a temperatura no gabinete foi superior à temperatura máxima de conforto de verão, 27°C, no entanto, como o gabinete não estava ocupado não representa desconforto para o ocupante, que só está presente mais tarde. No restante tempo as temperaturas estão sempre na gama de conforto. Já na temperatura do corredor adjacente à nave está sempre dentro da gama das temperaturas de conforto. Este facto deve-se à temperatura do corredor ser em média 0,90°C inferior à do gabinete devido à sua arquitetura do edifício.

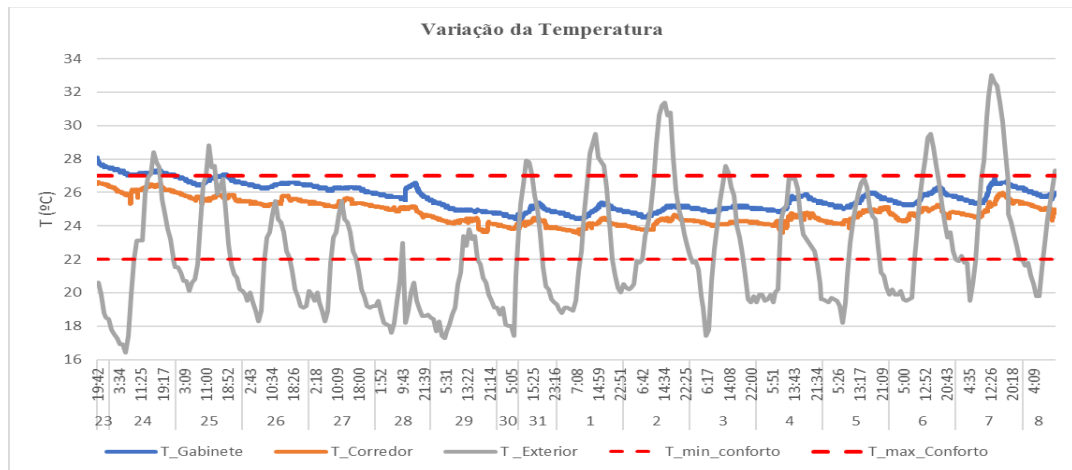


Figura 5. 1 – Variação das temperaturas do gabinete e corredor e as temperaturas de conforto mínima e máxima

- **Humidade Relativa**

Como se pode observar, a humidade reativa no gabinete embora varie bastante ao longo do tempo, encontra-se sempre dentro dos valores de conforto, não causando desconforto ao utilizador.

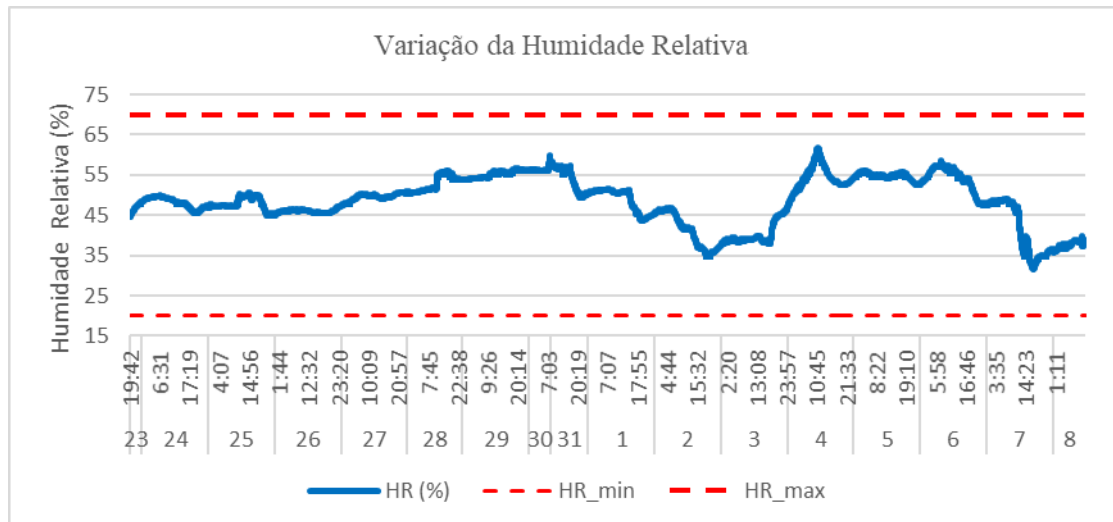


Figura 5. 2 - Variação da humidade relativa e a HR de conforto mínima e máxima

4.2.4 Qualidade do ar

- **Concentração de CO₂**

O nível de CO₂ interior para conforto tem de ser 800ppm superior ao exterior. Como o CO₂ atual está a 405,03ppm, no gabinete o valor limite para conforto será 1205,03ppm.

Como se pode observar, a concentração de CO₂ fica sempre muito inferior ao valor máximo para conforto.

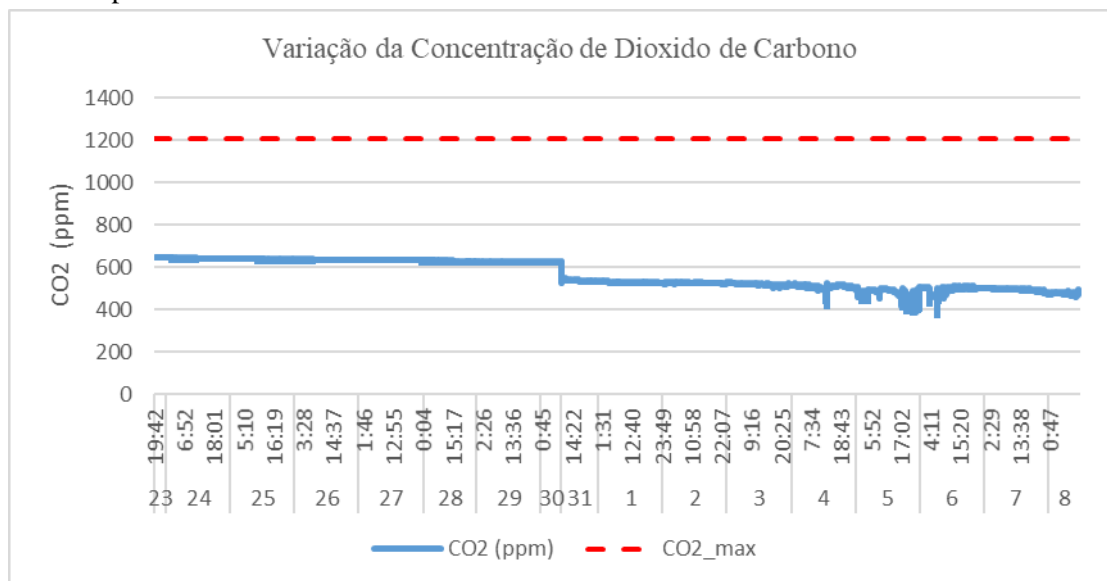


Figura 5. 3 - Variação da concentração de CO₂ e a CO₂ de conforto máximo

4.2.5 Conforto visual (iluminância)

Como se observa na figura 5.4, os 500 lux raramente são atingidos ao longo da semana, o que pode ser explicado por uma preferência do utilizador, uma vez que existe iluminação artificial que pode ser utilizada e que garante os valores mínimos de iluminância.

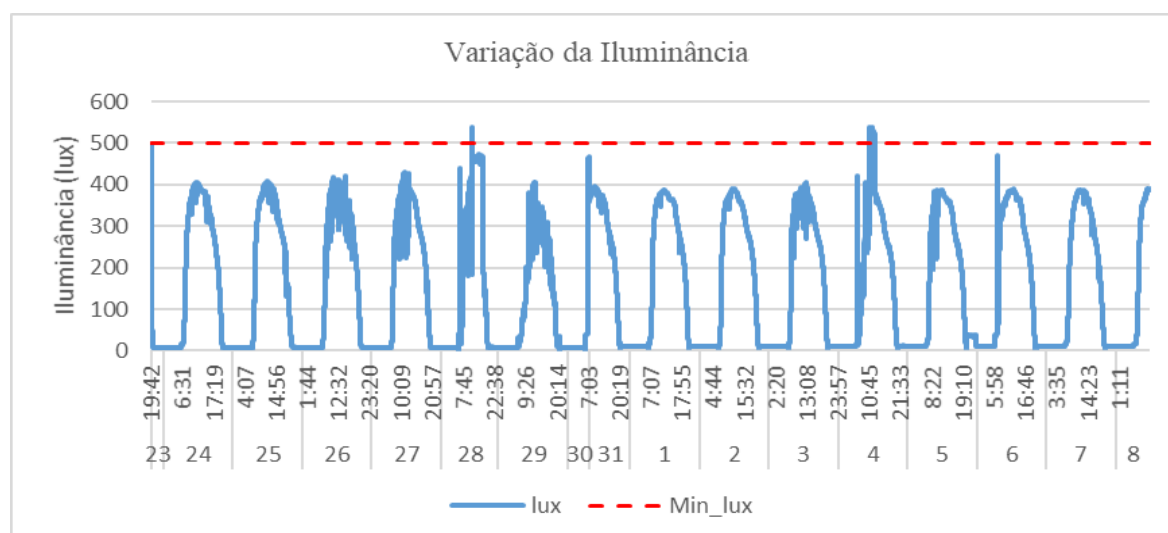


Figura 5. 4 - Variação da iluminância e o nível de conforto mínimo

4.2.6 Comportamento adaptativo

Aqui encontram-se os parâmetros que o utilizador tem ao seu dispor no gabinete para que possa atingir o conforto.

- **Ocupação:**

Através deste gráfico conseguimos perceber os dias em que o utilizador esteve presente no gabinete, o horário de trabalho e enquadrar com outras ações mais à frente. Quando os valores estão próximos de zero significa que não há movimento e quando há um pico, foi detetado movimento do utilizador.

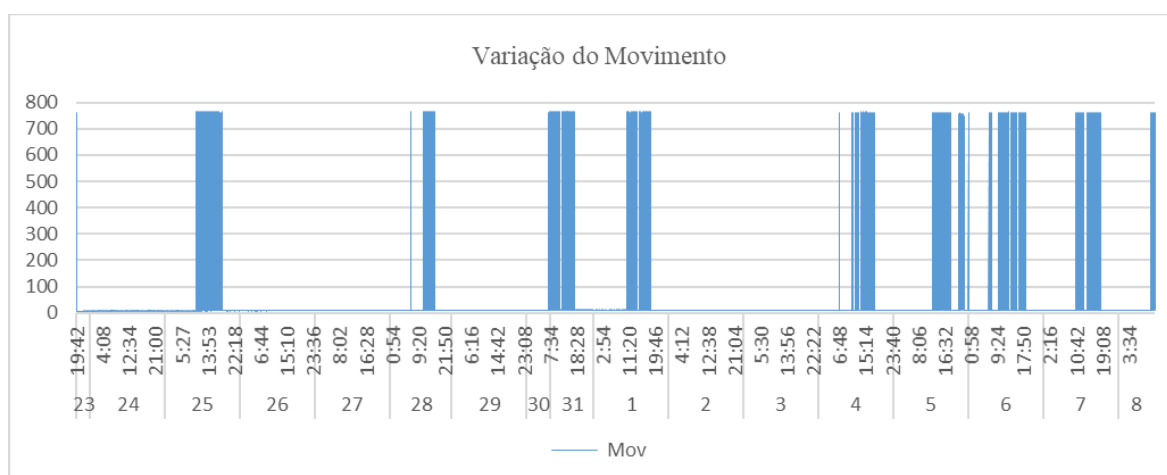


Figura 5. 5 – Variação do movimento do utilizador

- **Estado da Porta:**

Através do gráfico 5.6 é possível perceber alguns hábitos do utilizador, tais como horários de entrada e saída, estado da porta a quando no gabinete, etc. Podemos perceber que o utilizador abre a porta maioritariamente pelas 11h e que a última vez que a fecha é por volta das 19h, o que está relacionado com o horário de trabalho. Observando a densidade

das colunas podemos também perceber que a porta não permanece aberta por grandes períodos de tempo, o que pode ser devido ao barulho exterior ou privacidade.

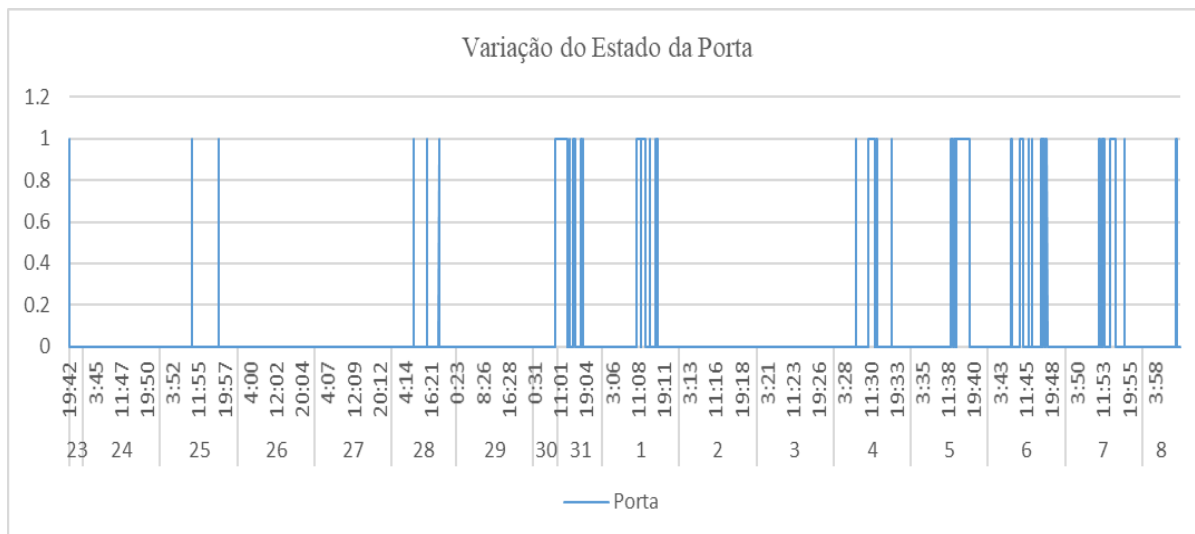


Figura 5. 6 - Variação do estado da porta – 0: fechada; 1: Aberta

- **Estado das Janelas:**

Como já foi dito anteriormente, a janela deste gabinete é dividida em duas folhas, sendo a 1ª a que tem o mecanismo de abertura e de fixação e a 2ª não tem nenhum dispositivo. Neste gráfico 5.6 conseguimos perceber os hábitos comportamentais do utilizador e verificar que este apenas utiliza a folha 1 da janela, a que tem o dispositivo de abertura e que apenas é alterada ou retificado o seu estado no início e fim do período trabalho do utilizador. Já a folha 2 não foi alvo de interação por parte do utilizador, mantendo-se sempre fechada.

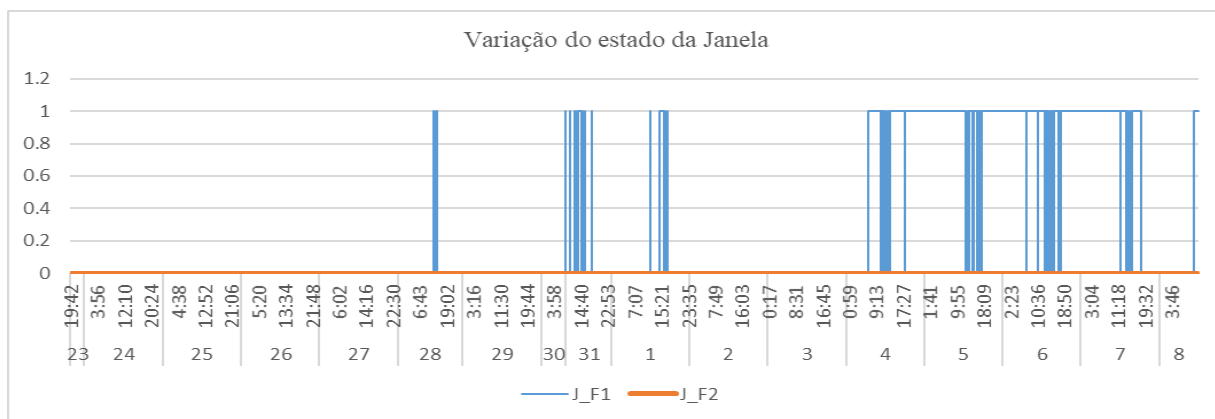


Figura 5. 7 - Variação do estado da Janela – 0: fechada; 1: Aberta

- **Estado do Estore:**

Uma vez que se trata de um estore projetável o seu estado vai ser avaliado em 2 componentes, o nível de abertura, em cm e a projeção do mesmo, também em cm.

Através do gráfico 5.8 podemos observar que o utilizador não tem grande interação com o estore, não alterando a sua posição ao longo de 16 dias. Quanto ao nível, pode considerar-se que faz apenas 1 alteração, sendo as outras pequenas alterações causadas pela folha da janela a bater na fita do estore. O utilizador confirmou que a alteração no nível do estore deveu-se à necessidade de sombreamento para o encandeamento provocado por um edifício com uma cobertura envidraçada inclinada.

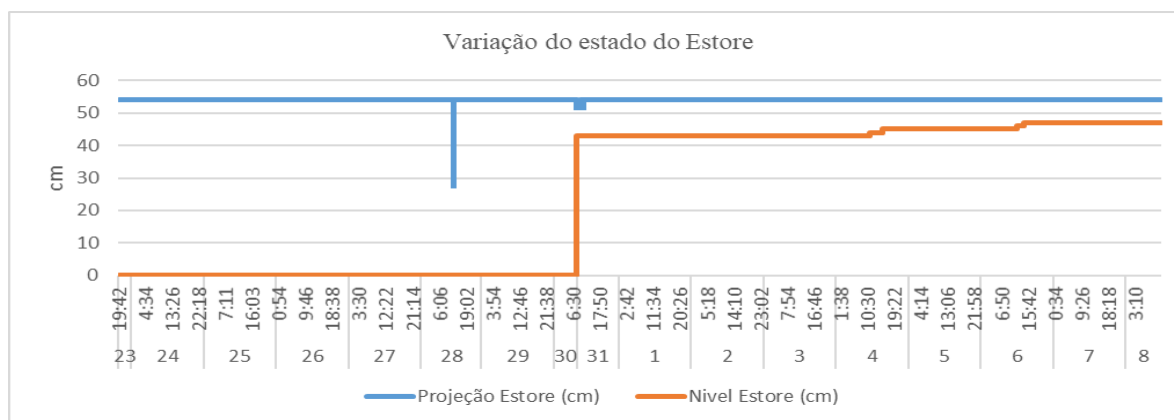


Figura 5. 8 - Variação do estado do estore; Nível de abertura e projeção

4.2.7 Discussão dos resultados

De modo a caracterizar o comportamento adaptativo humano foi analisado como o utilizador interage com os dispositivos disponíveis no seu gabinete e que consequências teve no conforto e consumo de energia de iluminação.

Por observação do gráfico 5.9 podemos concluir que a presença do utilizador está relacionada com o horário de trabalho (11h00-19h00) e que a partir do momento em que passa mais tempo no gabinete interagiu mais com os dispositivos. Durante a ocupação do espaço, o principal comportamento é a abertura e fecho da porta e da janela. Como já foi referido capítulo 5.3, o utilizador tende a deixar a folha 1 da janela (folha prioritária) aberta, interagindo mais no período de trabalho e a folha 2 (folha secundária) fechada, uma vez que a primeira poder ficar fixa numa posição estável quando se encontra aberta, enquanto a segunda folha não tem mecanismos que permitam ficar estável (fixa). Quanto à porta interior de acesos ao corredor, esta permanece maioritariamente fechada, por razões de privacidade/ruido.

Quando à interação com o estore facilmente se pode concluir que é muito reduzida (uma manobra no dia 31 – agosto), ao contrário do esperado quando comparado com outros trabalhos [47]. A partir de dia 31, altura em que o utilizador começou a passar mais tempo no gabinete optou por baixar o estore cerca de 40cm, o que equivale a mais ou menos 1/3 do seu comprimento, sendo explicado que quando o sol está forte, o utilizador fica encandeado pelo encandeamento causado por um reflexo de um prédio próximo com cobertura envidraçada com inclinação.

A projeção do estore permaneceu inalterada, encontrando-se na posição de projeção que será a mais adequada para assegurar o comportamento passivo do espaço, dado permitir sombrear e ventilar o gabinete.

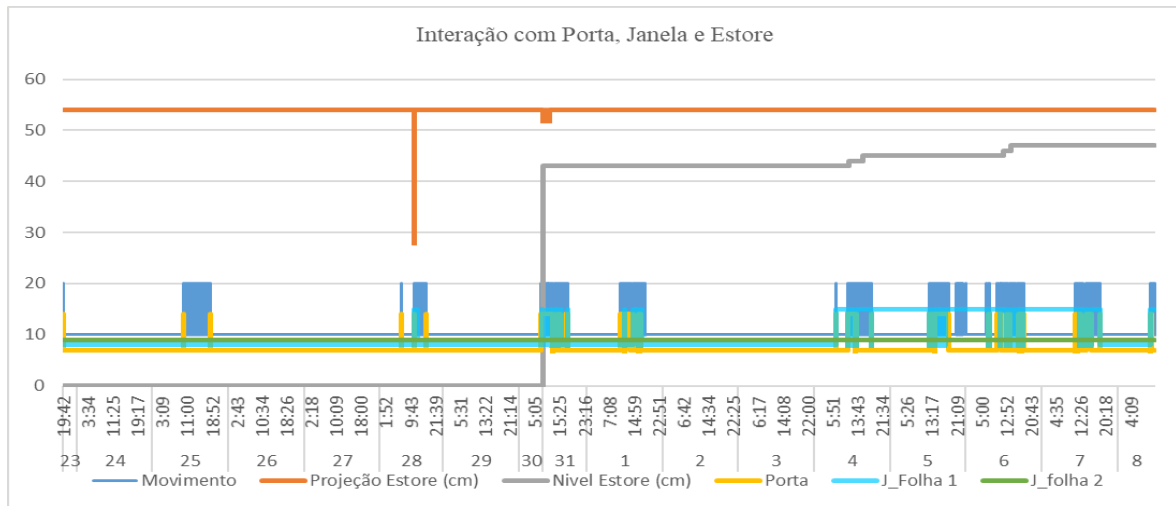


Figura 5. 9 – Interação do utilizador com a porta, janela e estore

Como se pode observar pelo gráfico da figura 5.10 da “Variação das temperaturas com a abertura da porta e janela do gabinete”, quando há abertura da janela a temperatura do gabinete aumenta, o que é expectável, uma vez que a temperatura exterior é superior à do gabinete, causando o efeito inverso procurado pelo utilizador que seria a diminuição da temperatura. O mesmo se observou na temperatura do corredor, mas devido ao posicionamento da sonda de temperatura, que se encontrava em cima da porta, o que leva a uma leitura sobrevalorizada da temperatura do corredor, no entanto o utilizador não tem nenhuma reação de modo a contrariar o desconforto criado.

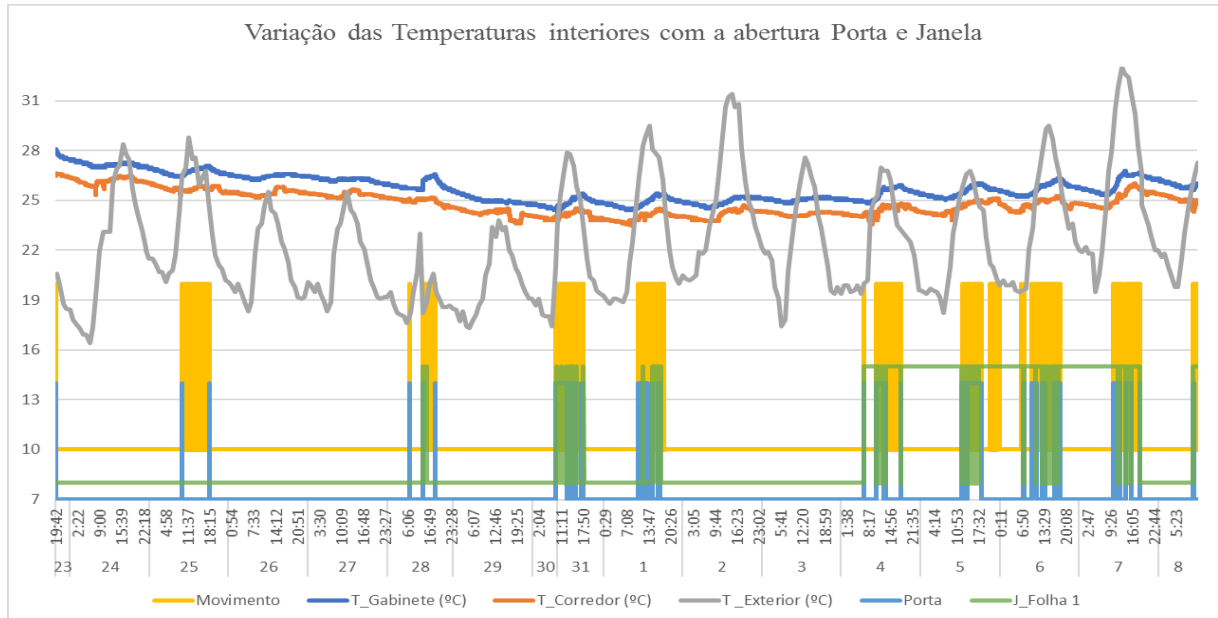


Figura 5. 10 – Variação das temperaturas com a abertura da porta e janela do gabinete

Embora a ventilação natural não tenha tido o efeito desejado, pode observar-se nos gráficos 5.11 e 5.12 que a ventilação natural causada pela abertura da porta e janela provoca uma mudança no nível de O_2 e de Humidade relativa do gabinete, embora não tenha sido esta a intenção do utilizador.

Ao observar o gráfico 5.11 é perceptível que só a porta aberta não faz baixar o nível de CO₂ no gabinete, no entanto, quando o utilizador mantém a porta e a folha 1 da janela aberta (uma vez que nunca abre a folha 2), concentração de CO₂ baixa cerca de 100ppm, no entanto como este já estava dentro valor de conforto, esta descida não vai alterar o seu conforto.

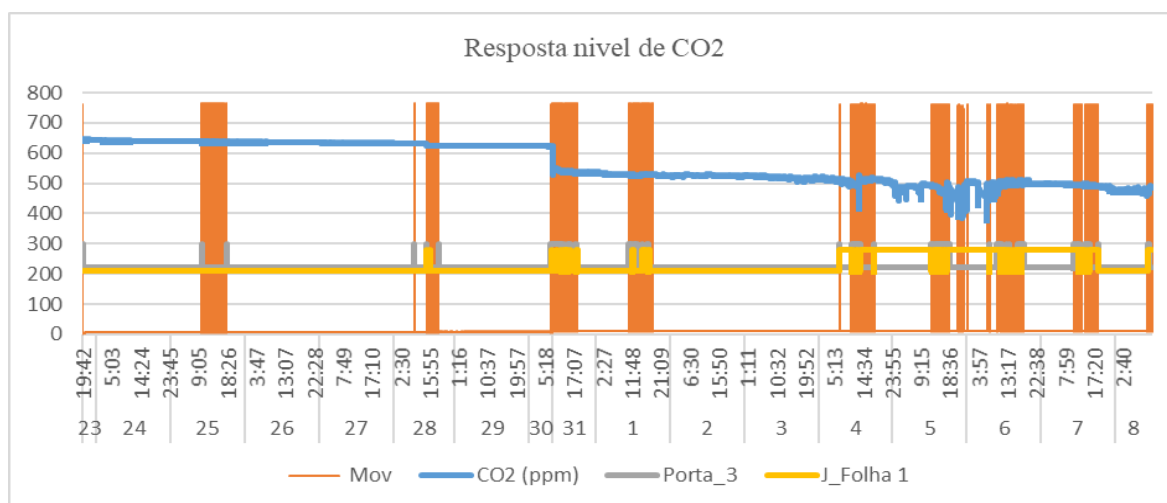


Figura 5. 11 - Variação do nível de CO₂ com a abertura da porta e janela

Já no gráfico da figura 5.12 “Variação da humidade relativa com a abertura da porta e janela” podemos verificar que a abertura da porta e janela faz com que a humidade relativa interior siga o nível de humidade relativa exterior, no entanto em nada vai contribuir para o conforto ou desconforto do utilizador, uma vez que a humidade relativa no gabinete ainda se mantém dentro dos valores de conforto, $20\% < HR < 70$.

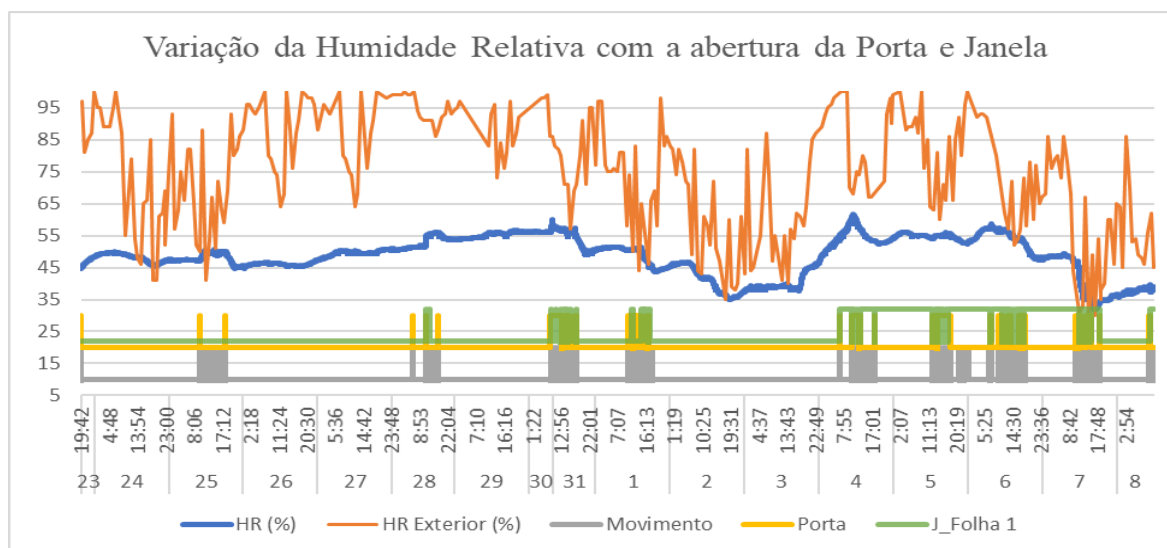


Figura 5. 12 – Variação da humidade relativa com a abertura da porta e janela

No gráfico da figura 5.13 da interação do utilizador com a iluminação e estore, podemos observar que o encandeamento descrito anteriormente não é refletido na iluminância, o que se deve ao posicionamento do sensor, que se encontra no meio do gabinete.

Também se depreende que a pouca utilização do dispositivo de sombreamento pode ser devido ao facto da iluminância não atingir os 500 lux recomendados, sendo para isso necessária a iluminação artificial, descrita no gráfico como P (VA). Apesar da luz natural existente não seja regulamentarmente suficiente para o conforto do utilizador, a sua interação com a iluminação artificial existente é pouca e apenas pontual, sendo utilizada maioritariamente de madrugada ou ao fim do dia, altura em que a quantidade de lux natural não é de todo suficiente, o que leva a querer que para este utilizador em específico seja suficiente para o seu conforto.

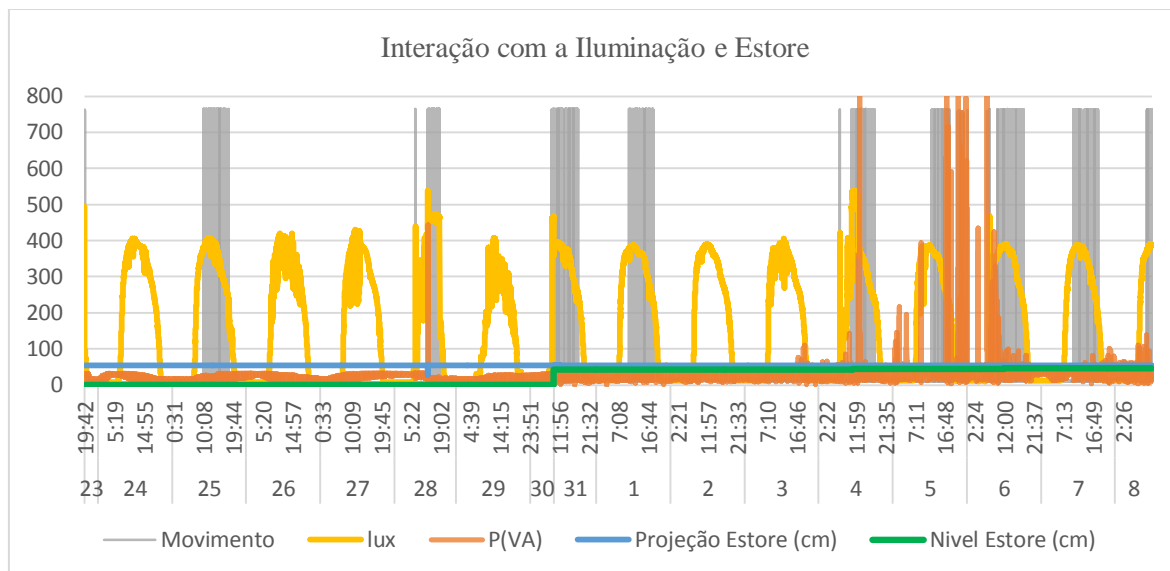


Figura 5. 13 – Interação do utilizador com a iluminação e estore

Avaliando mais em detalhe, figura 5.12 “Interação do utilizador com a iluminação e variação da iluminância”, observamos que o ato de ligar a luz e consequente aumento da potência consumida nas lâmpadas tem um impacto de apenas aproximadamente 100 lux, o que leva a concluir que este é mais sensível à luz natural do que à artificial, o que é explicado pelos diferentes comprimentos de onda de cada tipo de iluminação, como indica a figura 5.15 “Comprimento de onda para diferentes tipos de iluminação”

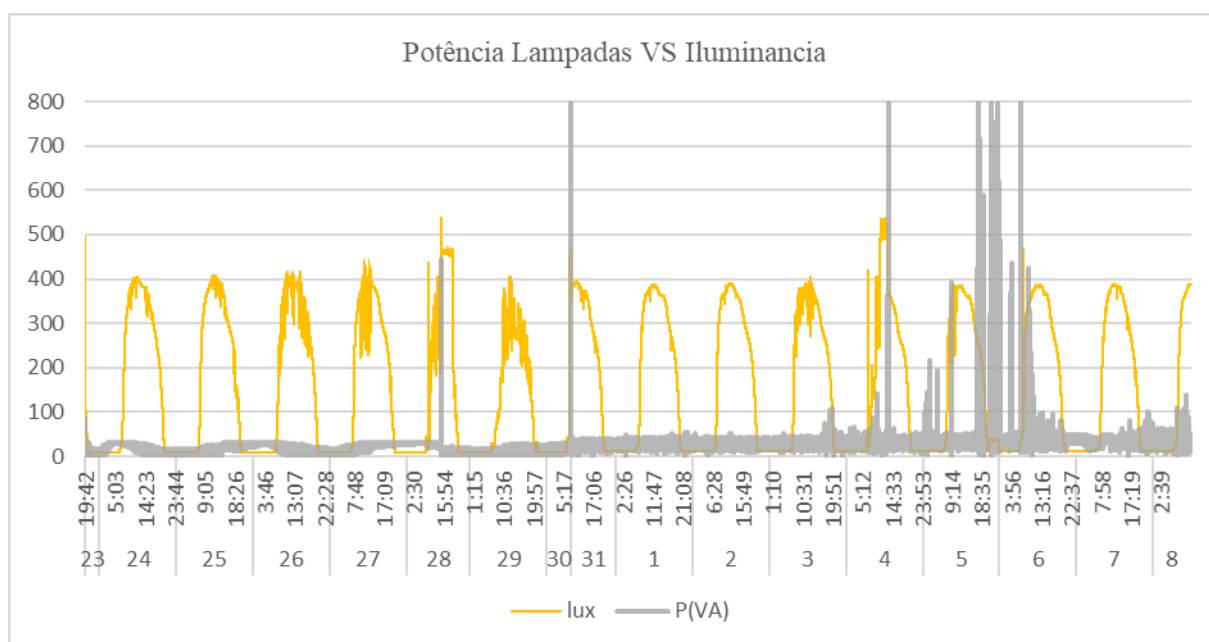


Figura 5. 14 – Interação do utilizador com a iluminação e variação da iluminância

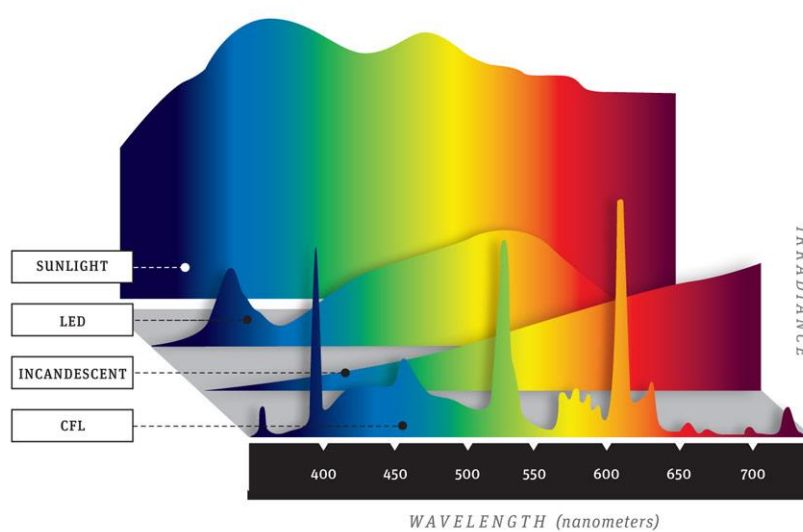


Figura 5. 15 – Comprimento de onda para diferentes tipos de iluminação [48]

5 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Atualmente muitos trabalhos de investigação sobre o conforto adaptativo ou comportamento adaptativo humano são com base em simulação computacional ou então em edifícios altamente mecanizados, sendo poucos os que fazem monitorização de casos reais em contexto real, sendo por isso o desenvolvimento do SMEC de interesse científico, muito por conta da imprevisibilidade do comportamento humano.

Relativamente ao comportamento do utilizador, pode concluir-se que este não mostra grande interação com os meios disponíveis no gabinete para melhorar o seu conforto, o que demonstra um comportamento passivo.

Este comportamento pode ser observado ao longo do estudo, por exemplo na utilização da iluminação artificial, na utilização de sombreamento e no pouco tempo que o utilizador mantém a porta aberta. No entanto o ato de abrir a janela quando chega e a colocação do estore num ponto onde não haja encandeamento já constitui um comportamento adaptativo do utilizador.

Também pode concluir-se que estamos perante um utilizador com consciência dos consumos de energia, uma vez que o seu comportamento é sempre no sentido de evitar o consumo energético, mesmo que isso possa provocar um pequeno desconforto.

Sendo assim, podemos dizer que as normas que determinam as condições de conforto não se aplicam a todos os utilizadores, uma vez que além deste depender das expectativas destes, onde pessoas diferentes têm diferentes perceções do ambiente ao seu redor e têm hábitos/gostos diferentes, como refere no ASHRAE 55, 10% dos utilizadores vão sentir desconforto nas condições ideais. Deste modo o conceito de conforto adaptativo pode vir a tomar cada vez mais relevância quando falamos no binómio Conforto VS consumo energético, uma vez que ainda hoje em dia a sua implementação continua a ser difícil nos edifícios existentes devido à sua arquitetura.

No caso do gabinete do caso de estudo, existem diversas alterações que podiam vir a aumentar o conforto do utilizador sem aumentar o consumo energético ou mesmo diminuir, tais como deixar a janela entreaberta durante a noite de modo a arrefecer o gabinete, uma vez que a temperatura exterior, como observada no gráfico 5.10 é menor que a interior (*free cooling*), a colocação de grelhas no topo da parede do gabinete adjacente ao corredor de modo a ventilar melhor sem ser preciso ter a porta aberta ou ainda mesmo a substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas led, mais eficientes e que aquecem menos o espaço envolvente.

Nesta tese foi um desenvolvimento do SMEC e prova de conceito. Face aos resultados positivos, considera-se que o SMEC permite caracterizar e compreender o comportamento do utilizador de modo generalizado, no entanto há coisas que podem vir a ser melhoradas:

- Substituir a *breadboard* por uma placa com os elementos soldados de modo a evitar erros causados por elementos a tocarem-se e transmitirem energia entre si e perdas de corrente ao longo da placa, uma vez que o Arduíno está a alimentar a 5V muitos sensores ao mesmo tempo;
- Substituir o sensor de luminosidade por um mais preciso e colocar mais próximo da janela;
- Trocar a posição do sensor de temperatura do corredor, colocando mais a meio do mesmo de forma a não sofrer de forma direta com a temperatura do gabinete quando a porta é aberta e sim representar a temperatura geral do corredor;

- Trocar o rotary encoder da fita de estore para a caixa de estore de modo a evitar falsos deslocamentos caso o estore fique preso (não verificado com no tempo de monitorização por se tratar de um utilizador com pouca interação com o estore);
- Ligar o Arduíno à internet de modo a ser possível a monitorização em tempo real e mandar avisos e dicas ao utilizador. – Só não foi possível devido ao material existente e às condições da rede de internet.

Referências Bibliográficas

- [1] Z. Nagy, F. Y. Yong, M. Frei, and A. Schlueter, “Occupant centered lighting control for comfort and energy efficient building operation,” *Energy Build.*, vol. 94, pp. 100–108, 2015.
- [2] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2012/27/UE,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 1–56, 2012.
- [3] M. J. F. | A. Marques, “O Horizonte 2020 : Objetivos e Estrutura,” 2013.
- [4] “Metas de energia e clima para 2030: líderes europeus estabelecem objetivos pouco ambiciosos.” [Online]. Available: <http://www.quercus.pt/comunicados/2014/outubro/3957-metas-de-energia-e-clima-para->. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [5] “ADENE - PLANOS E PROGRAMAS.”
- [6] “PNAEE - Enquadramento.” [Online]. Available: <http://www.pnaee.pt/pnaee#enquadramentopnaee>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [7] O. F. T. H. E. Council, “DIRECTIVA 2009/28/CE,” vol. 2008, no. 2, pp. 16–62, 2009.
- [8] “PNAER - Apren | Associação de Energias Renováveis.” [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=207&cat=197>. [Accessed: 06-Sep-2017].
- [9] APREN, “Boletim Energias Renováveis - APREN: Associação Portuguesa de energias renováveis,” p. 6, 2016.
- [10] S. Shahzad, J. Brennan, D. Theodossopoulos, B. Hughes, and J. K. Calautit, “Energy and comfort in contemporary open plan and traditional personal offices,” *Appl. Energy*, vol. 185, pp. 1542–1555, 2017.
- [11] G. Y. Yun and J. T. Kim, “Creating sustainable building through exploiting human comfort,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 590–594, 2014.
- [12] T. Hong and H. Lin, “Occupant Behavior : Impact on Energy Use of Private Offices,” *Asim IBSPA Asia Conf.*, no. January, 2012.
- [13] J. F. Nicol and M. A. Humphreys, “Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings,” *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 563–572, 2002.
- [14] Z. Nagy, F. Y. Yong, M. Frei, and A. Schlueter, “Occupant centered lighting control for comfort and energy efficient building operation,” *Energy Build.*, vol. 94, pp. 100–108, 2015.
- [15] Z. Nagy, F. Y. Yong, and A. Schlueter, “Occupant centered lighting control: A user study on balancing comfort, acceptance, and energy consumption,” *Energy Build.*, vol. 126, pp. 310–322, 2016.
- [16] European Standard, “EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and indoor air quality , thermal environment , lighting and acoustics,” pp. 1–52, 2007.
- [17] ISO, “International Standard Iso,” vol. 2, 2002.
- [18] “ASHRAE 55-2013.pdf.”
- [19] ADENE, “Saiba mais sobre Ventilação,” 2016.
- [20] J. M. Botelho da Silva, “A ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edificios residenciais, In Portugueses,” p. 102, 2012.
- [21] H. (LNEG) Gonçalves, “Eficiência Energética nos Edifícios,” *Direcção Geral Energ. Ministério da Econ.*, pp. 1–30, 2010.
- [22] “Enquadramento | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios.” [Online]. Available: <http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0>. [Accessed: 05-Sep-2017].

- [23] M. D. E. E. Do Emprego, “Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro,” *Diário da República*, no. 40, pp. 40–73, 2013.
- [24] “PORDATA - Temperatura média do ar (média anual).” [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Site/MicroPage.aspx?DatabaseName=Portugal&MicroName=Temperatura+média+do+ar+\(média+anual\)&MicroURL=1067&](https://www.pordata.pt/Site/MicroPage.aspx?DatabaseName=Portugal&MicroName=Temperatura+média+do+ar+(média+anual)&MicroURL=1067&). [Accessed: 03-Aug-2017].
- [25] A. Pinto, “REABILITAÇÃO DO PARQUE PÚBLICO EDIFICADO,” 2015, pp. 1–14.
- [26] “Lisbon, Portugal Forecast | Weather Underground.” [Online]. Available: <https://www.wunderground.com/weather/pt/lisbon>. [Accessed: 20-Sep-2017].
- [27] “Arduino Comparison Guide - learn.sparkfun.com.” [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arduino-comparison-guide>. [Accessed: 27-May-2017].
- [28] “Arduino Portugal - Comunidade de Arduino em Portugal.” [Online]. Available: <https://www.arduinoportugal.pt/>. [Accessed: 03-Dec-2016].
- [29] “Arduino - O que são as Bibliotecas.” [Online]. Available: <http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/arduino/arduino-o-que-sao-as-bibliotecas/>. [Accessed: 27-Apr-2017].
- [30] “Arduino Playground - Serial.” [Online]. Available: <https://playground.arduino.cc/Referencia/Serial>. [Accessed: 20-May-2017].
- [31] “Serial Peripheral Interface – Wikipédia, a enciclopédia livre.” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface. [Accessed: 20-May-2017].
- [32] “IoT platform | Internet of Things | Ubidots.” [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed: 27-Sep-2017].
- [33] “Arduino Ethernet Shield R3 | A000072 | Arduino.” [Online]. Available: <http://www.hobbytronics.co.uk/arduino-ethernet-shield>. [Accessed: 27-Sep-2017].
- [34] “Relógio com o módulo RTC DS1307 - FilipeFlop.” [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/blog/relogio-rtc-ds1307-arduino/>. [Accessed: 02-Jun-2017].
- [35] “Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22 - FilipeFlop.” [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>. [Accessed: 27-Apr-2017].
- [36] “Hookup | Code | Arduino to AM2302 Temperature - Humidity Sensor Tutorial.” [Online]. Available: <http://cactus.io/hooks/sensors/temperature-humidity/am2302/hookup-arduino-to-am2302-temp-humidity-sensor>. [Accessed: 05-Apr-2017].
- [37] “DS18B20 (digital temperature sensor) and Arduino - Arduino Project Hub.” [Online]. Available: <https://create.arduino.cc/projecthub/TheGadgetBoy/ds18b20-digital-temperature-sensor-and-arduino-9cc806>. [Accessed: 25-Jun-2017].
- [38] “Photocell Tutorial!: 7 Steps (with Pictures).” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Photocell-tutorial/>. [Accessed: 28-Apr-2017].
- [39] “How PIR Sensor Works and How To Use It with Arduino.” [Online]. Available: <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-pir-sensor-works-and-how-to-use-it-with-arduino/>. [Accessed: 03-May-2017].
- [40] “Earth’s CO2 Home Page.” [Online]. Available: <https://www.co2.earth/>. [Accessed: 07-May-2017].
- [41] “Davide Gironi: Cheap CO2 meter using the MQ135 sensor with AVR ATmega.” [Online]. Available: <http://davidegironi.blogspot.pt/2014/01/cheap-co2-meter-using-mq135-sensor-with.html#.VJXAgsC3b>. [Accessed: 07-May-2017].
- [42] “Learn | OpenEnergyMonitor.” [Online]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino?redirected=true>. [Accessed: 15-May-2017].

- [43] “OpenEnergyMonitor Current Sensor Calculator.” [Online]. Available: <http://tyler.anairo.com/projects/open-energy-monitor-calculator>. [Accessed: 25-May-2017].
- [44] “How to Use a Magnetic Door Switch / Sensor With Arduino: 4 Steps.” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/How-to-Use-a-Magnetic-Door-Switch-Sensor-With-Ardu/>. [Accessed: 20-Apr-2017].
- [45] “How Rotary Encoder Works and How To Use It with Arduino - HowToMechatronics.” [Online]. Available: <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>. [Accessed: 27-May-2017].
- [46] “HC-SR04 Example: 3 Steps.” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Simple-Arduino-and-HC-SR04-Example/>. [Accessed: 14-May-2017].
- [47] A. Pinto, “Occupant behaviour and impact on indoor thermal environment Window and shading opening and closing on passive office building in Lisbon,” *Occupant Behav. 14, Nottingham*, pp. 2015–2017, 2014.
- [48] “Ultimate Light Bulb Test - Incandescent vs. Compact Fluorescent vs. LED.” [Online]. Available: <http://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/reviews/g164/incandescent-vs-compact-fluorescent-vs-led-ultimate-light-bulb-test/>. [Accessed: 15-Sep-2017].

Anexos

Código SMEC: Arduino

```
//----- Bibliotecas -----
#include <DS1307.h>           // biblioteca RTC DS1307
#include "cactus_io_AM2302.h" // biblioteca DHT 22
#include <OneWire.h>          // biblioteca para comunicação oneWire
#include <DallasTemperature.h> // biblioteca sensor tem DS18B20
#include "EmonLib.h"          // biblioteca SCT03 - corrente e
potencia
#include <Encoder.h>          // biblioteca do encoder
#include <SPI.h>              // biblioteca comunicação shield
ethernet- Arduino
#include <SD.h>               // bibliotecacartão SD
#include "MQ135.h"           // biblioteca do MQ135

//----- SENSORES -----
// Analógicos:
DS1307 rtc(A0, A1);
#define PHOTO_PIN A5          // photoresistor - luminosidade
#define PIR_PIN A8            // PIR
#define SCT013_PIN A11        // SCT013 -energia
#define MQ135_PIN A15         // MQ135 - CO2

// Digitais:
#define AM2302_PIN 41          // DHT22 -Temperatura e humidade
gabinete
#define ONE_WIRE_BUS 37        // Sensor temperatura Nave: DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //Estabelece a comunicação one wire
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Passa os dados para o
DallasTemperature
const int trigHC_SR = 9;       // trig HC-SR04 - Prjecção estore
const int echoHC_SR = 8;       // echo HC-SR04- Prjecção estore
Encoder myEnc(3, 2);           // Encoder - pins interrupt
int Porta_PIN = 21;            // Porta
int J1_PIN = 18;               // Janela 1
int J2_PIN = 15;               // Janela 2
const int chipSelect = 4;      //chipSelect pin para o leitor do
cartão SD

// Variaveis
int Photovalue = 0;            // VALORES photoresistor (0-1023)
AM2302 dht(AM2302_PIN); // Inicializa DHT
EnergyMonitor emon1;           // Energia Tomadas
int rede = 230;                // Tensao da rede eletrica
long duration;                 // HC-SR04
float dml;                     // HC-SR04
float conv_HC = 6.8;           // converção para a projecção final HC-SR04
int dm2;                       // distância real do estore - HC-SR04

float oldPosition = 0; //Posição anterior encoder
float conv_enc = 0.07; //conv_encersão passos - distâncis(cm)-
Encoder
int E_dist;                    //distância (cm) - Encoder
int STATE_MOV;                 //estado do movimento
```

```

int STATE_P;           //estado da porta
int STATE_J1;          //estado da Janela 1
int STATE_J2;          //estado da Janela 2
File SDfile;           // Objectdo do cartão SD
MQ135 gasSensor = MQ135(MQ135_PIN);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  rtc.halt(false); //Aciona o relógio
  /*As linhas abaixo setam a data e hora do modulo e podem ser
  comentada apos a primeira utilizacao
  rtc.setDOW(FRIDAY);      //Define o dia da semana
  rtc.setTime(12, 57, 0);   //Define o horario
  rtc.setDate(28, 7, 2017); //Define o dia, mes e ano*/

  //Definicoes do pino SQW/Out
  rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
  rtc.enableSQW(true);

  //calibrar sensor de corrente ST
  emon1.current(SCT013_PIN, 57.1); //Pino, calibracao - Cur Const=
  Ratio/BurdenR. 2000/35 = 57,1.

  dht.begin(); //INICIA O AM2302
  sensors.begin(); //inicia o DS18B20
  SD.begin(chipSelect); //Inicializa o cartão SD

  //HC-SR04
  pinMode(trigHC_SR, OUTPUT); // Sets the trigHC_SR as an Output
  pinMode(echoHC_SR, INPUT); // Sets the echoHC_SR as an Input

  //Moviemtno
  pinMode(PIR_PIN, INPUT); //Define pino sensor como entrada

  //Portas e janelas - colocar input_pullup - n dar erro
  pinMode(Porta_PIN, INPUT);
  digitalWrite(Porta_PIN, HIGH);
  pinMode(J1_PIN, INPUT);
  digitalWrite(J1_PIN, HIGH);
  pinMode(J2_PIN, INPUT);
  digitalWrite(J2_PIN, HIGH);

  // Abre um novo ficheiro no cartão SD e fecha:
  Serial.println("Creating SMEC4.txt...");
  SDfile = SD.open("SMEC4.txt", FILE_WRITE);
  SDfile.println("DATA\t\tHORA\t\tT_G(°C)\t\tT_N(°C)\tHR(%) \t
  CO2(ppm)\tflux\t\tA\tP(VA)\t Mov\tP_Est\tN_Est\tPorta\tJ1\tJ2");
  SDfile.close();

  //Cabeçalho
  Serial.println("DATA\t\tHORA\t\tT_G(°C)\t\tT_N(°C)\tHR(%) \t
  CO2(ppm)\tflux\t\tA\tP(VA)\t Mov\tP_Est\tN_Est\tPorta\tJ1\tJ2");
}

```

```
void loop()
{
  //LUMINOSIDADE, LUX
  Photovalue = analogRead(PHOTO_PIN);
  delay(30);

  //TEMPERATURA E HUMIDADE - Gabinete
  dht.readHumidity();
  dht.readTemperature();
  delay(30);

  //TEMPERATURA - Corredor Nave
  sensors.requestTemperatures(); // Comando para obter as leituras de
  temperatura
  delay(30);

  //CO2: MQ135
  float rzero = gasSensor.getRZero(); //calibração do MQ135
  int ppm = gasSensor.getPPM();
  delay(30);

  //Corrente e Potencia
  double Irms = emon1.calcIrms(1480); //Corrente
  double potencia = Irms * rede; //P=I*V: Potencia (VA)
  delay (30);

  // Nivel estore(cm): Encoder:
  long newPosition = myEnc.read();
  if (newPosition != oldPosition) {
    oldPosition = newPosition;
    E_dist = newPosition * conv_enc;

    if (newPosition <= 0) { //Limitar o encoder a zero
      oldPosition = 0;
      newPosition = 0;
      myEnc.write(0); // adiciona uma linha
      E_dist = 0.00;
    }
  }
  delay (30);

  //Projecção estore: HC-SR04
  digitalWrite(trigHC_SR, LOW); //limpa trigHC_SR
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigHC_SR, HIGH); // trigHC_SR no estado HIGH por 10
  micro segundos
  delayMicroseconds(20);
  digitalWrite(trigHC_SR, LOW);
  duration = pulseIn(echoHC_SR, HIGH); //Lê o echoHC_SR, retorna o
  tempo que o som levou a fazer o percurso - em milisegundos
  dm1 = (duration * 0.034 / 2) + 1; // calcula a 1ª distancia
  dm2 = dm1 * conv_HC; //calcula a distância real
  if (dm2 > 54) {
    dm2 = 54;
  }
  delay (30);
}
```

```

//sensor movimento:
STATE_MOV = (analogRead(PIR_PIN)); //Le o valor do sensor
/*if (STATE_MOV > 700) {
    STATE_MOV = 0;
}
else{
    STATE_MOV = 1;
}*/
delay (30);

//Portas e janelas- Sabe o estado do switch aos ler o in input pin:
0-fechada 1-Aberta
STATE_P = digitalRead(Porta_PIN);
STATE_J1 = digitalRead(J1_PIN);
STATE_J2 = digitalRead(J2_PIN);
delay (30);

//----- MANDA PARA CARTÃO SD -----
digitalWrite(chipSelect, LOW); // SD Card
SDfile = SD.open("SMEC4.txt", FILE_WRITE);
if (SDfile) {
    SDfile.print(rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT)); // DATA
    SDfile.print("\t");
    SDfile.print(rtc.getTimeStr()); // Hora
    SDfile.print("\t");
    SDfile.print(dht.temperature_C); // temperatura
gabinete(°C)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // temperatura
Nave(°C)
    SDfile.print("\t\t");
    SDfile.print(dht.humidity); // humidade (%)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(ppm); // CO2 (ppm)
    SDfile.print("\t\t");
    SDfile.print(Photovalue); // Luminosidade (lux)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(Irms); // Corrente(A)
    SDfile.print("\t");
    SDfile.print(potencia); // Potência(VA)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(STATE_MOV); // Estado movimento
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(dm2); // projecção estore(cm)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(E_dist); // Nivel estore(cm)
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(STATE_P); // Estado da porta
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.print(STATE_J1); // Estado da janela 1
    SDfile.print("\t ");
    SDfile.println(STATE_J2); // Estado Janela 2

    SDfile.close(); //Fecha o ficheiro do cartão SD
}
else {

```

```

        Serial.println("error opening datalog.txt"); // se o cartão SD
der erro
    }
    delay (30);

    //Imprimir no ecrã
    Serial.print(rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT)); // DATA
    Serial.print("\t");
    Serial.print(rtc.getTimeStr()); // Hora
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(dht.temperature_C); // temperatura
gabinete(°C)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // temperatura Nave(°C)
    Serial.print("\t\t");
    Serial.print(dht.humidity); // humidade (%)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(ppm); // CO2 (ppm)
    Serial.print("\t\t");
    Serial.print(Photovalue); // Luminusidade (lux)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(Irms); // Corrente(A)
    Serial.print("\t");
    Serial.print(potencia); // Potência(VA)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(STATE_MOV); // Estado movimento
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(dm2); // projecção estore(cm)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(E_dist); // Nivel estore(cm)
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(STATE_P); // Estado da Porta
    Serial.print("\t ");
    Serial.print(STATE_J1); // Estado da janela 1
    Serial.print("\t ");
    Serial.println(STATE_J2); // Estado da janela 2*/

    //Aguarda 15 segundos e repete o processo (60000-270 ao longo do
programa)
    delay (14730);
}

```

Protótipo da caixa do SMEC

